



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**"ESTUDIO SOBRE PROPIEDADES FISICAS EN TABLEROS  
AGLOMERADOS DE BAGAZO DE CAÑA PREPARADO CON  
EQUIPO EXPERIMENTAL SEMI-PESADO"**

**Francisco Buendia Palao**

**Jorge Villa Franco**

**Ingeniero Químico**

**1980**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Presidente, Prof. ADALBERTO TIRADO ARROYAVE  
Vocal " GUILLERMO ALCAYDE LACORTE  
Secretario " EDUARDO VALADEZ CUENCA  
1er. Suplente " VICENTE LEMUS DIAZ  
2do. Suplente " LUIS M. SOSA SALAS.

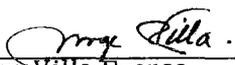
Sitio donde se desarrollo el tema:

INSTITUTO DE INVESTIGACION EN MATERIALES U.N.A.M.

Sustentante:

  
Francisco Buendía Palao

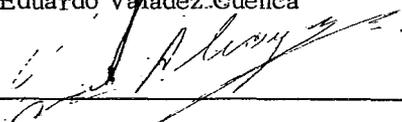
Sustentante:

  
Jorge Villa Franco

Asesor del Tema:

  
I.Q. Eduardo Valadez Cuenca

Supervisor Técnico:

  
I. Q. Guillermo Alcayde Lacorte



DEPTO. DE PASANTES Y  
EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUÍMICA

## I N D I C E

	PAG.
1.- Antecedentes .....	1
1.1.- Objetivos del estudio .....	6
2.0.- Métodos para determinar las propiedades de resistencia .....	10
3.0.- Plan de Trabajo .....	13
3.1.- Características del proceso .....	14
4.0.- Desarrollo experimental (primer etapa).....	20
4.1.- Selección de normas de prueba (primer etapa).....	29
4.2.- Selección de pruebas (primer etapa) .....	29
4.3.- Acondicionamiento de especímenes (primer etapa)..	34
4.4.- Realización de prueba (primer etapa).....	34
5.0.- Resultados experimentales (primer etapa).....	35
6.0.- Análisis gráfico (primer etapa).....	47
7.0.- Selección de especímenes representativos de alta, mediana y baja densidad con características mecánicas óptimas.....	85
8.0.- Elaboración de especímenes representativos (segunda etapa).....	87
8.1.- Selección de pruebas (segunda etapa).....	95
8.2.- Realización de pruebas (segunda etapa).....	98
9.0.- Resultados.....	99
9.1.- Prueba: resistencia a la tensión perpendicular a la superficie (segunda etapa) .....	100
9.2.- Prueba: extracción lateral de clavo (Segunda etapa). .....	102
9.3.- Prueba: extracción directa de clavo (segunda etapa). .....	106
9.4.- Prueba: extracción de cabeza de clavo a través del tablero (segunda etapa).....	107
9.5.- Prueba: extracción de tornillo del canto del tablero (segunda etapa).....	108
9.6.- Prueba: extracción directa del tornillo (segunda etapa) .....	110
9.7.- Prueba: resistencia a la tensión paralela a la superficie (segunda etapa) .....	112

9.8.- Prueba: módulo de ruptura .....	114
9.9.- Prueba: absorción de agua .....	116
9.10.- Prueba: hinchamiento del espesor .....	117
9.11.- Prueba: contenido de humedad .....	118
9.12.- Prueba: densidad relativa .....	119
9.13.- Tabla de resultados de los materiales desarrollados para la segunda etapa de pruebas.....	122
9.14.- Conclusiones de los resultados de la segunda etapa de pruebas .....	124
10.0.- Características fisico-mecánicas de tableros aglomerados elaborados con madera como materia-- prima .....	132
11.0.- Correlación de variables de proceso por medio de un programa de computación de biblioteca .....	139
11.1.- Variables para obtener análisis parciales .....	140
11.2.- Correlación lineal .....	141
12.0.- Conclusiones generales del estudio .....	146
13.0.- Apéndices .....	148
Bibliografía .....	181

## 1.0.- ANTECEDENTES

La producción y uso de los materiales depende en gran parte de sus propiedades físicas y mecánicas, tales como: resistencia a la tensión, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, absorción de agua, hinchamiento del espesor, contenido de humedad, etc.

Es posible obtener valores numéricos que describan estas propiedades mediante el uso de pruebas estandarizadas. Estos métodos de pruebas estandarizadas son desarrolladas -- con el propósito de establecer un criterio uniforme en base al cual se puedan comparar diferentes materiales. El uso extendido de materiales laminados en base de astillas de madera y de otras fibras celulósicas tales como bagazo de caña, fibra de coco, cascarilla de café, cascarilla de arroz, fibra de henequén y varias más, ha estimulado el interés en las propiedades físicas y mecánicas de este tipo de materiales y métodos para evaluar dichas propiedades.

La selección de un material para una aplicación es estructural específica depende de sus propiedades físico mecánicas, es por lo tanto importante familiarizarse con algunos

de los métodos de prueba para evaluar estas propiedades. El incremento en el conocimiento de las alternativas estructurales del material y el arribo de nuevos productos al mercado ha creado la necesidad de desarrollar modelos con propositos comparativos en lo referente a propiedades de resistencia.

En los últimos años ha tomado un camino diferente en el aspecto de lograr el aprovechamiento de desechos agrícolas tales como: bagazo de caña, fibra de coco, fibra de henequén, etc. Para lo cual se ha desarrollado una tecnología en la elaboración de tableros aglomerados a partir de estos desechos agrícolas.

El desarrollo y estudio de esta tecnología tiene como objetivo mejorar el renglón económico de regiones que cuentan con tales desechos, produciendose materiales con un valor agregado que redituen mayores ganancias que las actuales al venderse y utilizarse como abono ó combustible.

Se presenta ha continuación datos estadísticos de producción venta y utilización de bagazo de caña como combustible.

La presente tésis tiene como objetivos obtener las propiedades físico-mecánicas de tableros aglomerados de bagazo de caña y establecer un rango de comparación con tableros aglomerados desarrollados con partículas de madera los

Estado	Toneladas de bagazo producido	Toneladas de bagazo vendido	Toneladas de bagazo quemado
Campeche	97 334	<hr/>	97 334
Colima	169 412	14 412	140 586
Chiapas	110 082	<hr/>	110 082
Guerrero	12 067	<hr/>	12 067
Jalisco	1 092 120	<hr/>	1 092 120
Michoacan	334 306	<hr/>	334 306
Morelos	554 320	197 200	159 919
Nayarit	316 144	<hr/>	316 144
Oaxaca	500 221	29 177	440 667
Puebla	274 065	31 711	210 642
S.L.Potosi	392 596	<hr/>	392 596
Sinaloa	1 217 191	13 944	1 189 302
Tabasco	249 899	<hr/>	249 899
Tamaulipas	829 478	27 832	773 806
Veracruz	3 732 878	111 038	3 564 949
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
TOTAL	9 717 655	425 317	8 934 426

PRODUCCION DE BAGAZO DE CAÑA EN LA

REPUBLICA MEXICANA. [1]

cuales son tomados como producto competitivo en el área de consumo, considerando bajo que proceso se desarrollan. Se han realizado estudios en la investigación de propiedades físico-mecánicas a nivel de laboratorio, el diseño experimental del presente estudio se desarrolla a nivel de planta piloto (equipo semi-pesado), instalado con esta finalidad en el Instituto de Investigación en Materiales de la U.N.A.M.

Existen muy diversos usos y justificaciones para el material que constituyen los tableros aglomerados, recientemente se ha restringido más el uso de la madera y esta se utiliza para propósitos más específicos, surgiendo entonces la necesidad de sustituirla por un producto de usos más generales a un menor costo, este es un factor que encontramos a menudo por parte del consumidor incluso con una diferencia de calidad, sin embargo no aceptan una variación en el rendimiento a menos que sea a un favor.

El interés primario del ingeniero en un material es en que tan capaz será de predecir como reaccionará este bajo el uso para el cual se desea emplear. Para el ingeniero que está interesado en elaborar un material, el conocimiento de las propiedades del material y métodos para determinarlas es esencial.

Para distinguir un material de otro se consideran las propiedades físicas tales como: color, densidad, calor específico, coeficiente de expansión térmica, conductividad térmica, conductividad eléctrica, resistencia y dureza.

Algunas de las propiedades físicas describen la reacción del material al uso mecánico, estas se denominan propiedades mecánicas del material.

En la mayoría de los casos son estas propiedades con las cuales el ingeniero está relacionado, desde luego se desea conocer como reaccionarán los materiales al uso para el cual se diseña.

Para determinar sus propiedades mecánicas los materiales se sujetan a pruebas estandarizadas de laboratorio donde las condiciones de influencia son controladas, de esta forma las reacciones a cambio en las variables pueden ser determinadas. Los resultados obtenidos en cualquier prueba son aplicados solamente a casos en que las condiciones sean las mismas ó muy semejantes bajo las cuales los resultados de prueba fueron obtenidos este es un factor que la mayoría de las veces es omitido.

Las condiciones de prueba de esfuerzos para varias condiciones de servicio pueden ser aproximadas con precisión razonable en el laboratorio de pruebas de tal forma que los resultados obtenidos son útiles con propósitos estructurales.

En este estudio de materiales compuestos a base de bagazo de caña y urea-formaldehído se plantean objetivos específicos en cuanto a las cualidades físicas y mecánicas que dicho material debe presentar como elemento estructural estudiando los efectos de una formulación de aglomerante y los parámetros de partícula, como variables principales que afectan las propiedades físicas.

#### 1.1.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO.

Los objetivos que visualiza el siguiente estudio - tendiente a desarrollar un material formulado con bagazo de caña y urea-formaldehído como adhesivo son los siguientes:

1.- Determinar la concentración de resina U-F y características de proceso seco que ofrezca un óptimo de propiedades semejantes a la madera

2.- Determinar un proceso térmico y de presión para formar el material compuesto.

3.- Obtener una relación densidad- propiedad.

4.- Estudiar su comportamiento al módulo de flexión con el porcentaje de resina incorporado.

5.- Determinar pruebas de resistencia físicas siguientes.

Módulo de ruptura

Tensión paralela a la superficie

Tensión perpendicular a la superficie

Extracción de clavo

Extracción de tornillo

Densidad

Porciendo de Humedad

Absorción de agua

Hinchamiento del espesor

6.- Determinar la influencia de las variables de proceso en la propiedad física.

7.- Crear modelos matemáticos de correlación lineal para relacionar propiedad y variable de proceso de fabricación del material resultante.

El término resistencia aplicado a un material se refiere a la capacidad del material para resistir fuerzas externas ó cargas que tienden a cambiar sus dimensiones ó alterar su forma [2].

El efecto de aplicar cargas externas a un cuerpo es una forma de inducir esfuerzos internos dentro de la microestructura del mismo provocando cambios en tamaño y alteraciones en su forma, estas fuerzas localizadas provocan microfisuras por la localización de esfuerzos que provoca -

posteriormente fracturas.

Los cambios en tamaño ó forma se denominan deformaciones ó estiramientos. Si la carga es pequeña la deformación es pequeña y cuando la carga se retira, hay una parcial ó total recuperación del tamaño y forma original dependiendo de la amplitud de la zona de comportamiento elástico.

En la zona elástica de un material la deformación es proporcional a la carga, hasta el punto del límite de proporcionalidad, más allá de este límite la deformación aumenta más rápidamente que la carga.

El punto más allá del cual es imposible aumentar la carga sin establecerse un cambio permanente en la forma-- se llama límite elástico.

Si la carga excede a las fuerzas de cohesión interna, en las fibras y adhesivo ocurre una falla ó ruptura. La carga límite para causar la falla se denomina carga máxima - de esfuerzo. Es importante apreciar que la palabra resistencia tiene un significado genérico a menos que se le de una - especificación, (Vrg: resistencia a la tensión, resistencia al corte, etc.). El punto de carga máxima se denomina punto- de cedencia.

Las evaluaciones son basadas en las medidas de carga elongación, aplicando una carga a velocidad constante que

pérmite la deformación creciente de la probeta ó espécimen.

El esfuerzo a la tensión es expresado en términos de carga - y área seccional (carga/área), la deformación es una relación porcentual de la longitud del objeto sujeto a la tensión

Se ampliara posteriormente en detalle la descripción de las pruebas en el capítulo correspondiente.

## 2.0.- METODOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA

Se presentan dos métodos para determinar las propiedades de resistencia de un material laminado: pruebas de servicio y experimentos de laboratorio [2].

Las pruebas de servicio tienen la ventaja de que se pueden desarrollar bajo las condiciones a las cuales será expuesto el material y tales condiciones no pueden desarrollarse en un laboratorio debido a las dimensiones requeridas, por otro lado los factores a registrar son mucho más extensos y los factores externos que influyen las propiedades de resistencia son más difíciles de controlar y la descentralización de los experimentos incrementan su costo.

En las actuales circunstancias las pruebas de laboratorio proporcionan una solución práctica.

En el laboratorio hay dos clases de pruebas; pruebas en especímenes pequeños y pruebas en tamaños estructurales. Los resultados obtenidos son de valor con propósito comparativos y estos proporcionan una indicación de las propiedades de resistencia de materiales individuales.

Desde luego las pruebas son diseñadas para evitar-

la influencia de zonas de endurecimiento por falta de difusión de resina y otros defectos, los resultados no indican las cargas que se puedan ocasionar en una estructura debido a lo cual es necesario considerar un factor de seguridad para cargas de trabajo.

Las pruebas en tamaños estructurales son sujetas a los esfuerzos de las condiciones de trabajo más apropiadamente y tiene la ventaja particular de que se tiene la influencia de defectos tales como rajaduras y endurecimientos. Presenta la desventaja de ser costosas a causa de la gran cantidad de material requerido y el periodo de tiempo necesario para realizar las pruebas de gran tamaño hasta el punto de ruptura.

El procedimiento para especímenes pequeños ha sido estandarizado. Como las propiedades de resistencia son grandemente influenciadas por el contenido de humedad las pruebas se realizan en material homogenizado; el contenido de humedad para especímenes húmedos se ha estandarizado y es usualmente el 12%. Se toman otras precauciones para eliminar otros factores que pudieran afectar y causar variación en las propiedades de resistencia. Por ejemplo, el tamaño de las piezas de prueba se ha normalizado y también se ha mostrado que las propiedades de resistencia de una pieza son afectadas por la

velocidad de deformación, por esta causa todos los especímenes de prueba son cargados a una velocidad uniforme y constante.

Con respecto a las gráficas y datos obtenidos son de considerable importancia práctica y son comparables en base a que los métodos de prueba han sido estandarizados con las normas A.S.T.M., mismas que son usadas en las pruebas -- de los materiales desarrollados en este estudio.

NORMA.- A.S.T.M.  
D - 1037 -72a  
"EVALUATING THE PROPERTIES OF WOOD BOARD FIBER & PARTICLE  
PANEL BOARD" 1976  
Part 22  
Wood & Adhesives

### 3.0.- PLAN DE TRABAJO

De acuerdo a las características del material se ha establecido un plan de trabajo que consta de los siguientes puntos ha realizar:

- 1.- Selección de variables de proceso
- 2.- Selección de pruebas a realizar sobre el material.
- 3.- Diseño experimental según formulaciones
- 4.- Pruebas físicas primera etapa preliminar
- 5.- Elaboración de materiales experimentales prelimi milares.
- 6.- Acondicionamiento de especímenes preliminares.
- 7.- Realización de pruebas preliminares
- 8.- Evaluación de pruebas preliminares
- 9.- Selección de materiales representativos de alta, mediana y baja densidad con características mecánicas óptimas.
- 10.- Elaboración de especímenes ó probetas de tableros de alta, mediana y baja densidad segunda etapa.

- 11.- Pruebas físicas segunda etapa
- 12.- Realización de pruebas (segunda etapa)
- 13.- Evaluación de resultados (segunda etapa)
- 14.- Correlación de variables mediante un programa de computación.
- 15.- Resultados generales
- 16.- Conclusiones.

### 3.1.- CARACTERISTICAS DEL PROCESO

Este estudio se desarrolla con equipo experimental semi-pesado por lo que se debe considerar como la consecuencia de lo desarrollado a nivel de laboratorio.

En la preparación de la materia prima y desarrollo de los materiales experimentales se dispone de los equipos -- instalados en la planta piloto del I. I.M. (Instituto de Investigación en Materiales) U.N.A.M., equipos que se enumeran a continuación:

- 1.- Molino de plato fijo BAWER
- 2.- Clasificador neumático
- 3.- Mezclador de resina ZIG-ZAG
- 4.- Secador rotatorio de trayectoria helicoidal
- 5.- Prensa hidráulica de platos calientes ADAMSON

Se muestra a continuación un diagrama de flujo de estos equipos que operan en forma discontinua en la homogeneización de tamaño y humedad de partículas celulósicas.

Descripción de las operaciones que se efectúan en la planta piloto para homogeneizar partículas.

#### 1.- SECADO.

Las pacas proporcionadas en los ingenios conservan gran cantidad de humedad que es retenida por las fibras del bagazo siendo variables en un rango que fluctúa de 40 a 60% de humedad. El secado se realiza a la intemperie (asoleaderos), hasta alcanzar un rango de humedad del 7-9%, valor que es posible alcanzar también mediante el secador rotatorio, - figura 5.

#### 2.- MOLIENDA.

La molienda para obtener la gama de longitudes de partícula se realiza en un molino de plato rotatorio con un diámetro de 1.4 m., y un motor de 50 HP alimentado con corriente de 440 V., la velocidad de alimentación es de 3-4 Kg/min, figura 6.

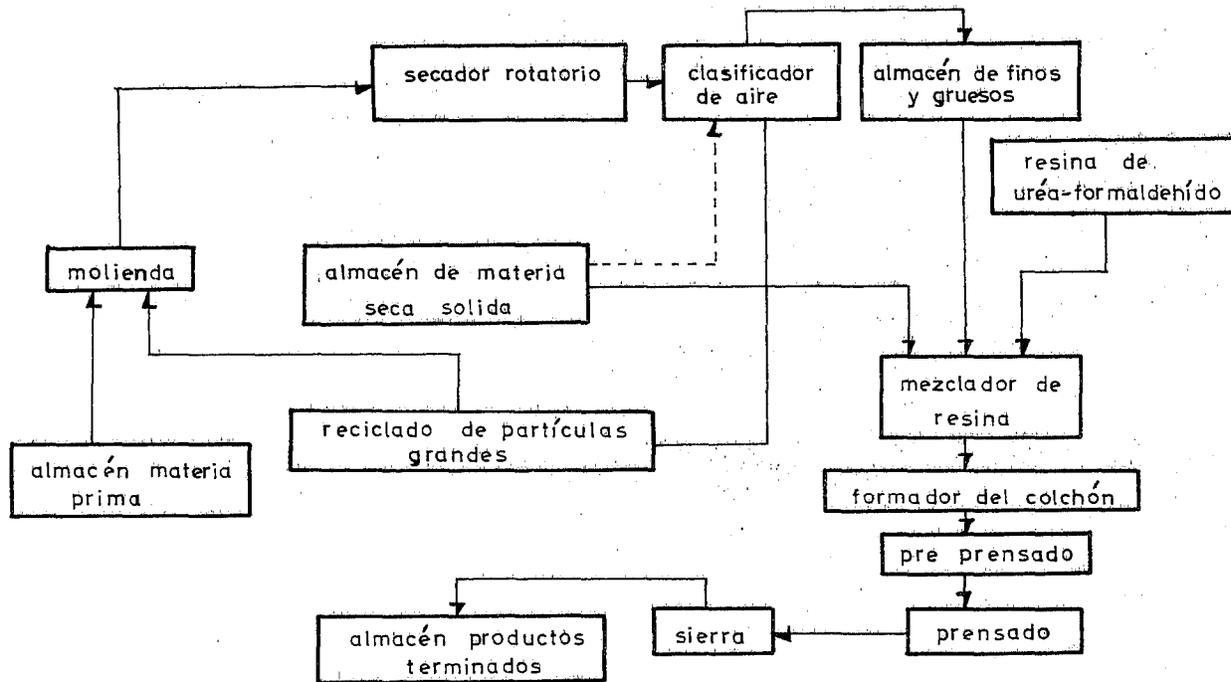


Figura 2.- DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA FABRICACION DE TABLEROS AGLOMERADOS

PROCESO SECO

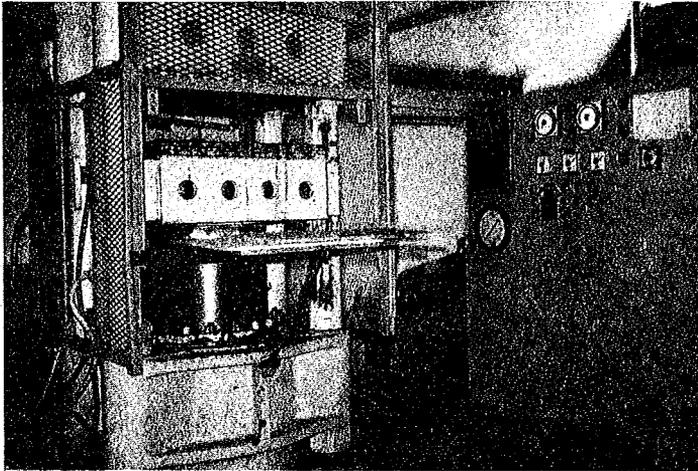


Figura 3

Prensa hidraulica de 300 toneladas marca ADAMSON con platinas calentables de 30×30 pulgadas adaptada para funcionar en ciclos de presion - descompresion.

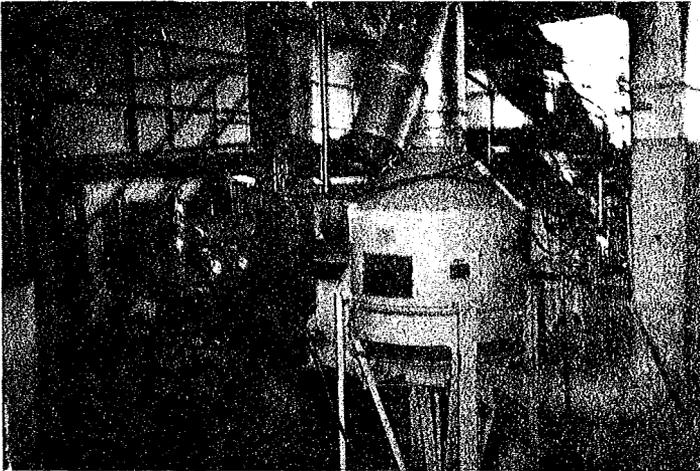


Figura 4

Clasificador neumático y por vibración para la separación de partículas celulósicas según su tamaño en tres categorías : finos medianos y gruesos.

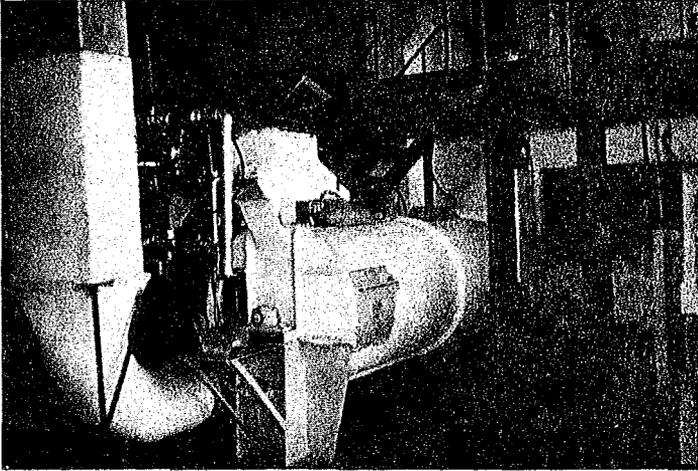


Figura 5  
Secador rotatorio neumático de trayectoria  
helicoidal.

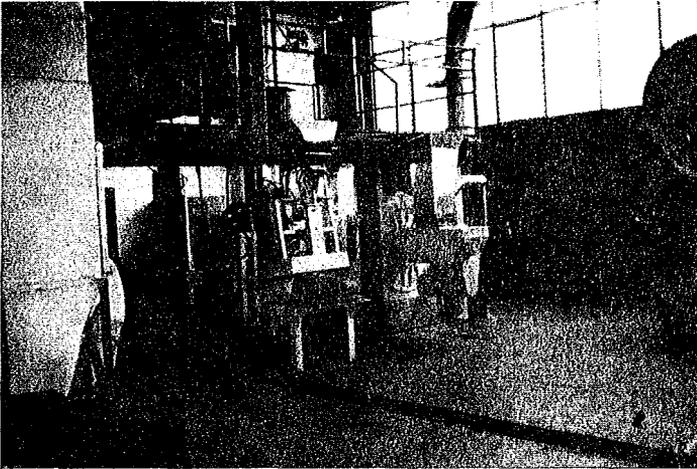


Figura 6

Molino BAWER de plato fijo mezclador de  
resina Zig-Zag carro alimentador.

### 3.- CLASIFICACION.

En esta operación se eliminan los finos obtenidos principalmente de la médula del bagazo de caña, esto se realiza con el propósito de evitar un alto consumo de resina debido a la gran superficie de contacto que presenta.

La operación se realiza con un clasificador del tipo de arrastre neumático, donde se obtienen finos, medianos y gruesos, este clasificador se alimenta de 3-4 Kg/min de material seco, figura 4.

### 4.- MEZCLADO.

El mezclado de la fibra se realiza en forma manual ó con un mezclador de resina según la cantidad de fibra usada. La composición de la resina en base a indicaciones del fabricante considerando el porcentaje de sólidos de la resina preparada es de 55.23%.

La figura 6 muestra un mezclador de resina, la resina preparada consta de:

I.- Resina urea-formaldehido tipo industrial marca RESISTOL RR-843 .....	80.0%
II.- Emulsión de Cera RESIMUL 1535 de resistol .....	4.1%
III.- Hidroxido de amonio grado industrial .....	1.2%
IV.- Sulfato de amonio grado industrial .....	2.0%
V.- Agua común .....	12.7%
	100.0%

Los porcentajes son en peso de resina preparada.

#### 5.- FORMADO DEL COLCHON.

Para la formación del colchón se utiliza un proceso de cribado en el cual se obtiene un ordenamiento no alineado sino disperso de las partículas dentro de un molde, evitando aglomeraciones (concentración de resina no dispersa que influyen negativamente en el acabado final del material-- manchándose este. Y creando anisotropía en las propiedades del material.

#### 6.- PRE-PRENSADO

El objetivo del pre-prensado es proporcionar una-- cierta consistencia al colchón formado y que conserve la forma del molde.

## 7.- PRENSADO

El paso final dentro de la elaboración del tablero consiste en la polimerización de la resina que tiene un carácter termofijo, a base de temperatura y presión, obteniéndose los tableros con un acabado final permanente (figura 6).

A continuación se muestra un ciclo de prensado típico en el que se obtiene una pieza de material experimental de bagazo de caña y urea-formaldehído.

En la elaboración de tableros aglomerados existen los siguientes procesos. [5].

- 1.- Proceso húmedo
- 2.- Proceso semi-seco
- 3.- Proceso seco
- 4.- Proceso semi-húmedo

Las características esenciales que definen cada uno de estos procesos se describen a continuación.

### 1.- PROCESO HUMEDO.

Es un proceso similar al empleado en la manufactura de papel. Esto es, se reduce a fibras la materia prima y se forma una suspensión, la cual se drena por una malla para formar el tablero y este se seca con aire caliente para darle las características finales. El tablero obtenido presenta

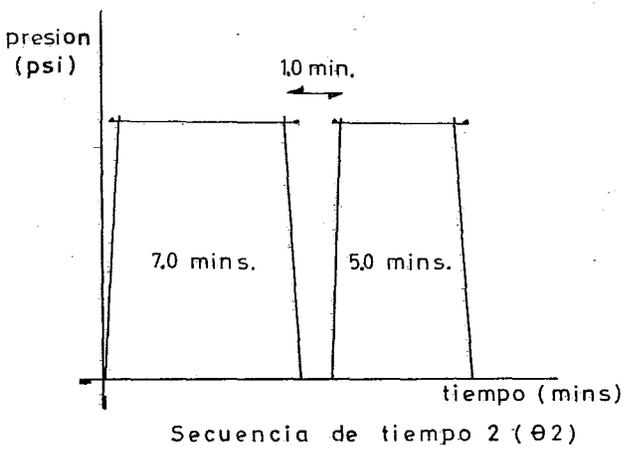
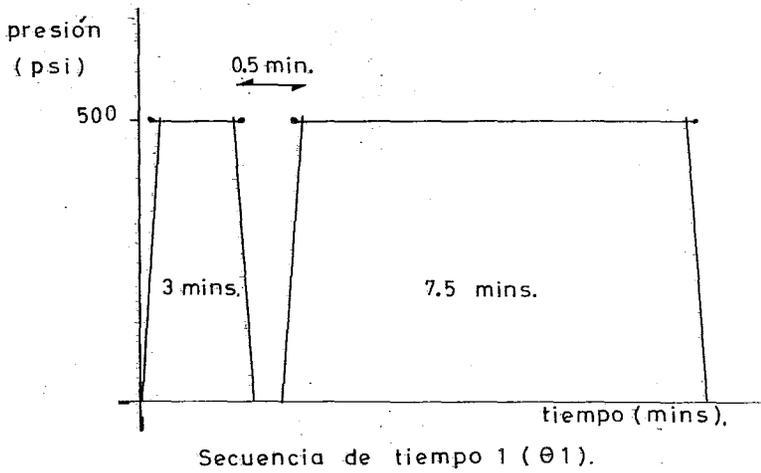


Figura 7.- Diagramas de tiempos de prensado

una de sus caras con una extrema tersura, SIS (smooth 1 side 1 lado liso).

## 2.- PROCESO SEMI-SECO.

El colchón de fibra seca se presiona a altos contenidos de humedad, es necesario usar una malla para permitir el escape de la humedad.

El producto resultante es un tablero muy similar - al obtenido por el proceso húmedo aunque es más claro en el color. La adopción del término semi-seco responde al hecho de que mientras el colchón del tablero se forma en seco, las condiciones de prensado se asemejan más a las del proceso húmedo.

## 3.- PROCESO SECO.

En este proceso la fibra ó partícula se maneja como una suspensión en aire, la cual formara un colchón por medio de una técnica de cribado.

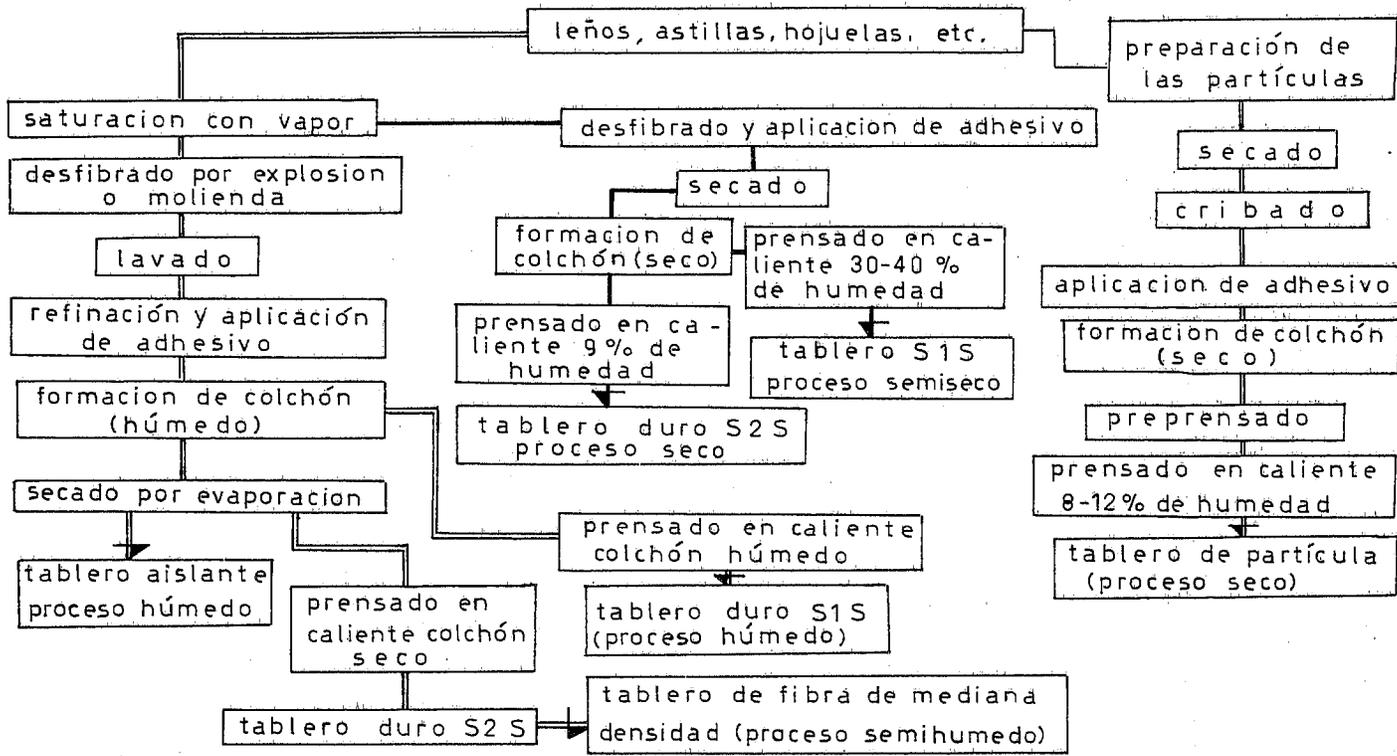
Esta técnica depende de las adiciones de resinas - sintéticas este proceso necesita de una industria química desarrollada que produzca resinas sintéticas en gran volumen y bajo costo.

#### 4.- PROCESO-SEMI-HUMEDO

Se aplica para tableros hechos de fibra, en este caso el colchón no es prensado húmedo sino que primero es completamente secado hasta lograr un bajo contenido de humedad - en el paso final es prensado en caliente hasta una densidad-final deseada. Puesto que el colchón entra a la prensa a un contenido de humedad bastante bajo no se requiere ninguna malla para permitir el escape de la humedad. El tablero resultante tiene dos caras tersas S2S (smooth 2 sides, 2 lados -- lisos).

La secuencia de desarrollo de cada uno de los procesos se puede observar en la figura 7. [5]

En este estudio los materiales desarrollados en base al diseño experimental se fabrican de acuerdo al proceso-seco para elaboración de tableros de partícula, esto esta -- adecuado por las características del equipo instalado en la-planta piloto del Instituto de Investigación en Materiales, - equipo semi-pesado que no permite la utilización de los otros procesos debido a que no se tiene la necesidad de manejar -- los grandes volúmenes de agua, necesarios en los demas procesos.



7.- Procesos para elaborar tableros aglomerados.

#### 4.0- DESARROLLO EXPERIMENTAL la. ETAPA PRELIMINAR

En la primer etapa preliminar se tiene un enfoque global del comportamiento del material en base a las variables de proceso.

De los resultados obtenidos se determinan los materiales con características mecánicas óptimas de acuerdo a las pruebas de módulo de ruptura y resistencia a la tensión paralela a la cara.

La segunda etapa de pruebas se desarrolla con estos materiales toda vez que se tiene un campo más específico hacia el cual se encaminan una serie de pruebas más extensas.

Selección de variables.

De acuerdo a las características del proceso se ha considerado dentro de las variables a controlar:

- a).- Longitud de partícula
- b).- Masa de bagazo
- c).- Porcentaje de resina
- d).- Espesor
- e).- Temperatura
- f).- Tiempo de prensado.

Diseño experimental.

Con las variables que intervienen en el proceso y bajo control, se establece originalmente un diseño experimental en el cual se conjugan todas las variables determinándose un total de 144 materiales a desarrollar. A continuación se muestra el diagrama experimental para la formulación de 144 materiales (figura 8), con los cuales se tendrá un panorama global de su comportamiento físico y mecánico.

#### 4.1.- SELECCION DE NORMAS DE PRUEBA. PRIMERA ETAPA.

Para la estandarización de las pruebas con fines comparativos se seleccionan las normas A.S.T.M. (American Society For Testing Materiales). [6]

Designación: D 1037-72a

American National Standard 08.1-1973 (R-1964)

Aprobado, Abril 16, 1973.

Por: American National Standards Institute.

#### 4.2.- SELECCION DE PRUEBAS PRIMERA ETAPA.

La selección de pruebas se realiza para desarrollarse en dos etapas, en la primera etapa a causa de restricciones en la superficie del material elaborado solo es posible obtener probetas ó especímenes para dos pruebas fundamen

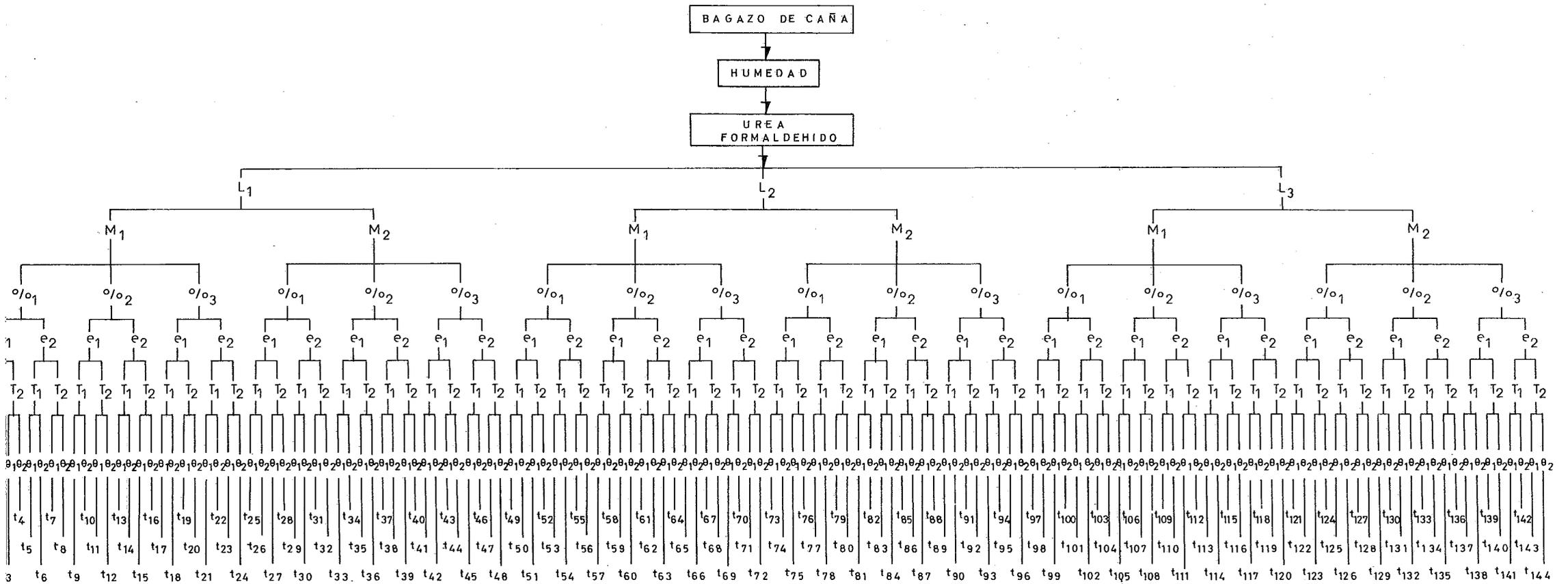


Figura 8.- Diagrama General

VARIABLES DE PROCESO

Longitud de Particula: (Li)

$L_1 = 22.1$  mm. (promedio)

$L_2 = 20.6$  mm. (promedio)

$L_3 = 1.7$  mm. (promedio)

Cantidad de bagazo (Mi)

$M_1 = 1.0$  Kg.

$M_2 = 1.5$  Kg.

Porcentaje de resina (%i)

$\%_1 = 13$

$\%_2 = 20$

$\%_3 = 25$

Espesor de tablero ( $e_i$ )

$e_1 = 1.270$  cm. (1/2 pulgada)

$e_2 = 1.905$  cm. (3/4 pulgada)

Temperatura ( $T_i$ )

$T_1 = 130$  °C

$T_2 = 145$  °C

Secuencia de tiempo ( $\theta_i$ )

$\theta_1 = 3/0.5/7.5$  mins.

$\theta_2 = 7/1.0/5.0$  mins.

ESPECIFICACIONES DE PRODUCCION

No	L	M	%	e	T	θ	No	L	M	%	e	T	θ
1	1	1	1	1	1	1	37	1	2	2	2	1	1
2	1	1	1	1	1	2	38	1	2	2	3	1	2
3	1	1	1	1	1	1	39	1	2	2	2	2	1
4	1	1	1	1	2	2	40	1	2	2	2	2	2
5	1	1	1	2	1	1	41	1	2	3	1	1	1
6	1	1	1	2	1	2	42	1	2	3	1	1	2
7	1	1	1	2	2	1	43	1	2	3	1	2	1
8	1	1	1	2	2	2	44	1	2	3	1	2	2
9	1	1	2	1	1	1	45	1	2	3	2	1	1
10	1	1	2	1	1	2	46	1	2	3	2	1	2
11	1	1	2	1	2	1	47	1	2	3	2	2	1
12	1	1	2	1	2	2	48	1	2	3	2	2	2
13	1	1	2	2	1	1	49	2	1	1	1	1	1
14	1	1	2	2	1	2	50	2	1	1	1	1	1
15	1	1	2	2	2	1	51	2	1	1	1	2	1
16	1	1	2	2	2	2	52	2	1	1	1	2	2
17	1	1	3	1	1	1	53	2	1	1	2	1	1
18	1	1	3	1	1	2	54	2	1	1	2	1	2
19	1	1	3	1	2	1	55	2	1	1	2	2	1
20	1	1	3	1	2	2	56	2	1	1	2	2	2
21	1	1	3	2	1	1	57	2	1	2	1	1	1
22	1	1	3	2	1	2	58	2	1	2	1	1	2
23	1	1	3	2	2	1	59	2	1	2	1	2	1
24	1	1	3	2	2	2	60	2	1	2	1	2	2
25	1	2	1	1	1	1	61	2	1	2	2	1	1
26	1	2	1	1	1	1	62	2	1	2	2	1	2
27	1	2	1	1	2	1	63	2	1	2	2	2	1
28	1	2	1	1	2	2	64	2	1	2	2	2	2
29	1	2	1	2	1	1	65	2	1	3	1	1	1
30	1	2	1	2	1	2	66	2	1	3	1	1	2
31	1	2	1	2	2	1	67	2	1	3	1	2	1
32	1	2	1	2	2	2	68	2	1	3	1	2	2
33	1	2	2	1	1	1	69	2	1	3	2	1	1
34	1	2	2	1	1	2	70	2	1	3	2	1	2
35	1	2	2	1	2	1	71	2	1	3	2	2	1
36	1	2	2	1	2	2	72	2	1	3	2	2	2

No	L	M	%	e	T	θ	No	L	M	%	e	T	θ
73	2	2	1	1	1	1	109	3	1	2	2	1	1
74	2	2	1	1	1	2	110	3	1	2	2	1	3
75	2	2	1	1	2	1	111	3	1	2	2	2	1
76	2	2	1	1	2	2	112	3	1	2	2	2	2
77	2	2	1	2	1	1	113	3	1	3	1	1	1
78	2	2	1	2	1	2	114	3	1	3	1	1	2
79	2	2	1	2	2	1	115	3	1	3	1	2	1
80	2	2	1	2	2	2	116	3	1	3	1	2	2
81	2	2	2	1	1	1	117	3	1	3	2	1	1
82	2	2	2	1	1	2	118	3	1	3	2	1	2
83	2	2	2	1	2	1	119	3	1	3	2	2	1
84	2	2	2	1	2	2	120	3	1	3	2	2	2
85	2	2	2	2	1	1	121	3	2	1	1	1	1
86	2	2	2	2	1	2	122	3	2	1	1	1	2
87	2	2	2	2	2	1	123	3	2	1	1	2	1
88	2	2	2	2	2	2	124	3	2	1	1	2	2
89	2	2	3	1	1	1	125	3	2	1	2	1	1
90	2	2	3	1	1	2	126	3	2	1	2	1	2
91	2	2	3	1	2	1	127	3	2	1	2	2	1
92	2	2	3	1	2	2	128	3	2	1	2	2	2
93	2	2	3	2	1	1	129	3	2	2	1	1	1
94	2	2	3	2	1	2	130	3	2	2	1	1	2
95	2	2	3	2	2	1	131	3	2	2	1	2	1
96	2	2	3	2	2	2	132	3	2	2	1	2	2
97	3	1	1	1	1	1	133	3	2	2	2	1	1
98	3	1	1	1	1	2	134	3	2	2	2	1	2
99	3	1	1	1	2	1	135	3	2	2	2	2	1
100	3	1	1	1	2	2	136	3	2	2	2	2	2
101	3	1	1	2	1	1	137	3	2	2	1	1	1
102	3	1	1	2	1	2	138	3	2	3	1	1	2
103	3	1	1	2	2	1	139	3	2	3	1	2	1
104	3	1	1	2	2	2	140	3	2	3	1	2	2
105	3	1	2	1	1	1	141	3	2	3	2	1	1
106	3	1	2	1	1	2	142	3	2	3	2	1	2
107	3	1	2	1	2	1	143	3	2	3	2	2	1
108	3	1	2	1	2	2	144	3	2	3	2	2	2

tales para materiales, como son: resistencia a la tensión paralela a la superficie y módulo de ruptura, las cuales se realizaran a los 144 materiales desarrollados.

#### 4.3.- ACONDICIONAMIENTO DE ESPECIMENES. PRIMERA ETAPA.

El acondicionamiento de los especímenes se realiza de acuerdo a las normas seleccionadas (A.S.T.M.), que se presentan en los apéndices.

#### 4.4.- REALIZACION DE PRUEBAS PRIMERA ETAPA.

Las pruebas se realizan con una máquina de pruebas universal marca INSTRON modelo de marco 1125, perteneciente al I.I.M. (Instituto de Investigación en Materiales) de acuerdo a las especificaciones establecidas por las normas seleccionadas usando los accesorios adecuados como lo son: celda de carga, mordazas mecánicas.

## 5.0.- RESULTADOS EXPERIMENTALES 1er. ETAPA PRELIMINAR

Los resultados de esta primera etapa de pruebas -- que consta de las siguientes pruebas:

- a).- Tensión paralela a la superficie
- b).- Módulo de ruptura.

Se presenta como una lista codificada de acuerdo-- al diagrama de producción con un ejemplo de cálculo para cada una de las pruebas anteriores.

Al realizar el corte de las probetas para las pruebas de módulo de ruptura y tensión paralela a la superficie-- se aprecia la ranuración interna del tablero siendo el 42% del total de los materiales desarrollados, estos se eliminaron no solo como materiales sino como procesos en si ya que propician un mal curado de la resina, generando un exceso de vapor de agua que no logra ser eliminado a través del panel durante el proceso.

Como causas principales de la ranuración interna -- se ha encontrado:

- 1.- Un porcentaje demasiado alto de resina que implica una cantidad excesiva de agua.

2.- Temperatura de polimerización alta (130, 145 - °C).

3.- Tiempo de polimerización demasiado largo.

4.- Tiempos de respiración cortos y escasos.

Las vías posibles de solucionar el problema son dos principalmente.

1.- Disminuir la temperatura de polimerización -- (80, 100°C)

2.- Tiempo de curado más cortos y en mayor proporción.

Estos criterios se aplicaran en la elaboración de los tableros para la segunda etapa de pruebas.

RELACION DE TABLEROS RANURADOS.

Estos se eliminaran del total de materiales.

Tablero No.	Observaciones
4	RI
10	RI
12	RI
17	RI
18	RI
20	RI
25	RI
27	RI
28	RI
33	RI
35	RI
36	RI
37	RI
41	RI
43	RI
44	RI
45	RI
46	RI
47	RI
67	RI
68	RI
73	RI
74	RI
75	RI
76	RI
81	RI
82	RI
83	RI
84	RI
85	RI
87	RI
89	RI
90	RI
91	RI
92	RI
94	RI

Tablero No.	Observaciones
96	RI
98	RI
100	RI
105	RI
106	RI
113	RI
114	RI
116	RI
121	RI
122	RI
123	RI
124	RI
127	RI
129	RI
130	RI
131	RI
132	RI
134	RI
136	RI
137	RI
138	RI
139	RI
140	RI
142	RI
143	RI
144	RI

Donde:

RI Significa ranuración interna.

A continuación se reportan los resultados de la primera etapa de pruebas que consta de módulo de ruptura y-tensión paralela a la superficie para los materiales que no presentaron ranuración interna debida al proceso.

TENSION PARALELA A LA SUPERFICIE.

Ensamble figura 9

Ejemplo de Cálculo.

Donde:

$$T = \frac{P}{b d}$$

T; Tensión paralela a la superficie  
(Kg/cm<sup>2</sup>).

P; Carga máxima (Kg).

b; Ancho del espécimen (cm).

d; Espesor del espécimen (cm).

Tablero # 34

	Carga (Kg)	Espesor (cm)	Ancho (cm)
	580	1.48	4.00
	600	1.41	4.08
	700	1.50	4.00
	650	1.38	4.05
Promedio	632.5	1.442	4.032

$$T = \frac{P}{b d} = \frac{632.5}{(4.032) (1.442)} = 108.735 \text{ Kg/cm}^2$$



Figura 9.-Tensión paralela a la superficie

No.	T (Kg/cm <sup>2</sup> )	No.	T (kg/cm <sup>2</sup> )
1	30.542	62	40.263
2	10.854	63	8.039
3	15.639	64	11.577
5	21.719	65	28.462
6	14.450	66	81.726
7	31.199	69	36.123
8	15.560	70	28.751
9	33.440	71	14.894
11	35.080	72	24.768
13	40.730	77	35.280
14	49.978	78	41.956
15	18.447	79	54.943
16	27.616	80	46.058
19	48.277	86	13.692
21	46.145	88	65.722
22	71.304	93	30.189
23	37.702	95	25.728
24	21.505	97	22.446
26	41.484	99	20.794
29	41.295	101	23.974
30	67.917	102	8.266
31	82.960	103	10.447
32	43.716	104	11.053
34	108.735	107	28.698
38	40.966	108	27.781
39	66.735	109	36.428
40	65.432	110	14.977
42	46.000	111	15.175
48	28.521	112	14.105
49	21.540	115	42.350
50	15.821	117	23.613
51	11.984	118	24.328
52	10.721	119	20.607
53	22.050	120	44.048
54	18.750	124	33.359
55	11.560	125	39.657
56	20.533	126	17.428
57	20.359	128	47.024
58	32.803	133	63.974
59	51.573	135	31.000
60	13.726	141	38.488
61	20.036		

Módulo de ruptura.

Ensamble figura 10.

Ejemplo de cálculo.

Donde:

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

P: Carga máxima (Kg)

L: Claro entre apoyos (cm)

b: Ancho del espécimen (cm)

d: Espesor del espécimen (cm)

 $M_r$ : Módulo de ruptura (Kg/cm<sup>2</sup>)

Tablero # 5

Carga (Kg)	Espesor (cm)	
31.0	1.640	P = 34.92 Kg.
35.0	1.625	
40.0	1.630	L = 4 pulg. (10.16 cm)
31.0	1.670	b = 3 pulg. ( 7.62 cm)
37.6	1.645	
		d = 1.642 cm.

Promedio

34.92                      1.642

$$M_r = \frac{3}{2} \frac{(34.92) (10.16)}{(7.62) (1.642)^2} = 25.903 \text{ Kg/cm}^2$$

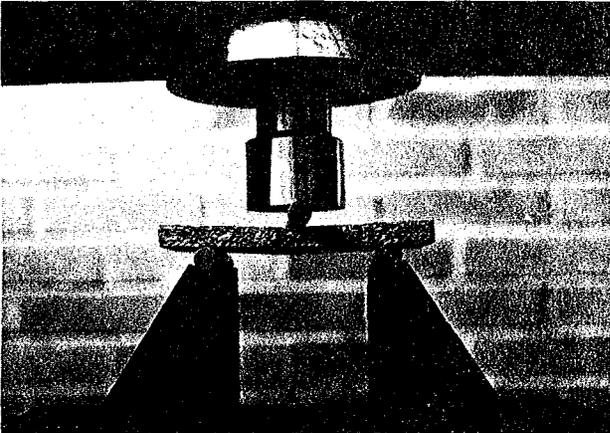
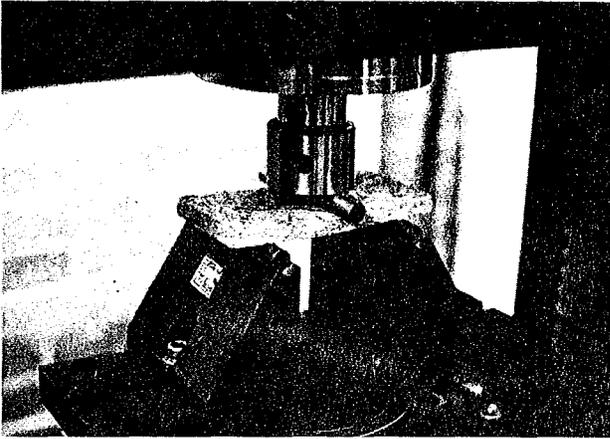


Figura 10  
Módulo de ruptura.

Tablero No.	$M_r$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tablero No.	$M_r$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	45.686	61	22.229
2	139.000	62	36.486
3	42.768	63	11.035
5	25.903	64	14.035
6	37.492	65	86.672
7	66.343	66	67.843
8	35.689	69	48.994
9	62.980	70	31.430
11	76.284	71	17.088
13	31.409	72	40.812
14	59.358	77	30.030
15	36.605	78	38.739
16	69.189	79	51.810
19	95.540	80	39.131
21	37.242	86	35.722
22	129.365	88	59.334
23	65.292	93	89.533
24	51.849	95	86.478
26	201.063	97	82.600
29	17.495	99	47.404
30	108.302	101	9.750
31	49.625	102	8.581
32	63.557	103	8.945
34	231.414	104	10.626
38	130.830	107	76.311
39	75.574	108	53.620
40	68.013	109	38.112
42	194.548	110	16.162
48	70.640	111	23.472
49	54.704	112	16.072
50	58.750	115	115.820
51	32.042	117	23.947
52	42.521	118	26.467
53	21.379	119	25.744
54	18.270	120	47.886
55	12.116	125	32.783
56	21.262	126	60.305
57	72.396	128	52.818
58	87.169	133	54.365
59	68.064	135	58.150
60	35.735	141	81.915

Selección de valores numéricos sobre los materiales considerados.

Habiendo eliminado los tableros defectuosos por proceso (RI, ranuración interna), se presenta a continuación -- una relación de las gráficas disponibles para su análisis.

Gráfica				Variables de proceso--					
1	3	11	19	L1	M1	E1	T2	01	
2	5	13	21	L1	M1	E2	T1	01	
	6	14	22	"	"	"	T1	01	
	7	15	23	"	"	"	T2	01	
	8	16	24	"	"	"	T2	02	
3	26	34	RI	L1	M2	E1	T1	02	
4	32	40	48	L1	M2	E1	T2	02	
	30	38	RI	"	"	"	T1	02	
	31	39	RI	"	"	"	T2	01	
5	51	59	R1	L2	M1	E1	T2	01	
	50	58	66	"	"	"	T1	02	
	52	60	RI	"	"	"	T2	02	
	49	57	65	"	"	"	T1	01	
6	53	61	69	L2	M1	E2	T1	01	
	54	62	70	"	"	"	T1	02	
	55	63	71	"	"	"	T1	01	
	56	64	72	"	"	"	T1	02	
7	RI	RI	RI	NO SE CONSIDERA.					
8	79	RI	95	L2	M2	E2	T2	01	
	80	88	R1	"	"	"	T2	02	
	78	86	R1	"	"	"	T1	02	

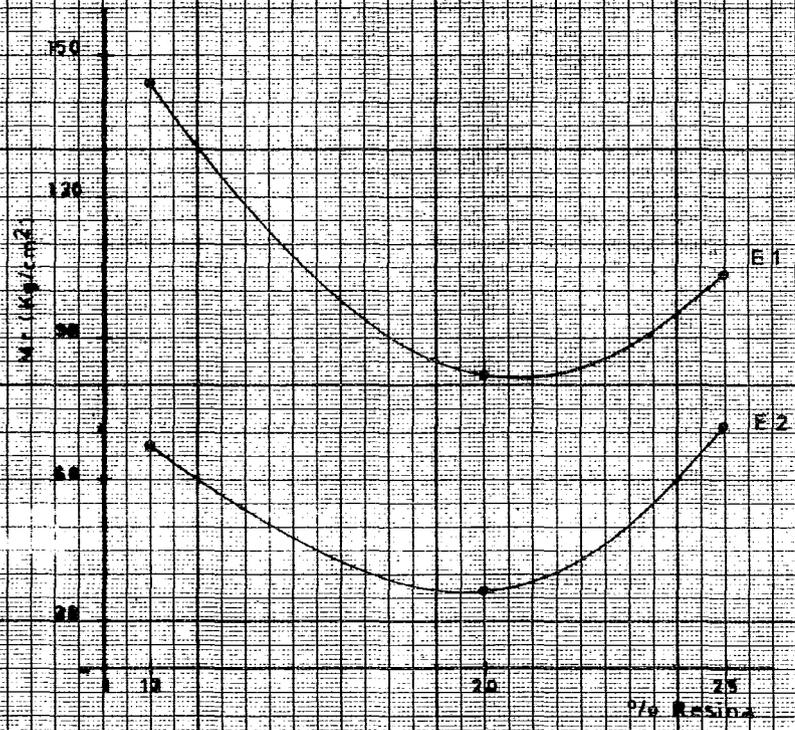
Gráfica	Tablero			No	Variables de proceso				
9	R1	R1	R1		NO SE CONSIDERA				
10	101	109	117	L3	M1	E2	T1	01	
	102	110	118	"	"	"	T1	02	
	103	111	119	"	"	"	T2	01	
	104	112	120	"	"	"	T2	02	
11	RI	RI	RI		NO SE CONSIDERA				
12	125	133	141	L3	M2	E2	T1	01	

#### 6.0.- ANÁLISIS GRÁFICO PRIMER ETAPA PRELIMINAR

El análisis gráfico se base en obtener una respuesta con respecto a el comportamiento de una de las variables--siendo los otros parámetros mantenidos constantes tratando--de eliminar ó minimizar la influencia de otras variables -- inherentes al proceso en la propiedad mecánica a analizar.

El análisis gráfico se lleva a efecto por separado para las dos pruebas desarrolladas en la primera etapa de --pruebas, resistencia a la tensión paralela a la superficie y módulo de ruptura.

TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO				
3	11	18	L1	M1	67	I1	01
7	18	23	L1	M1	62	I2	04



Gráfica A

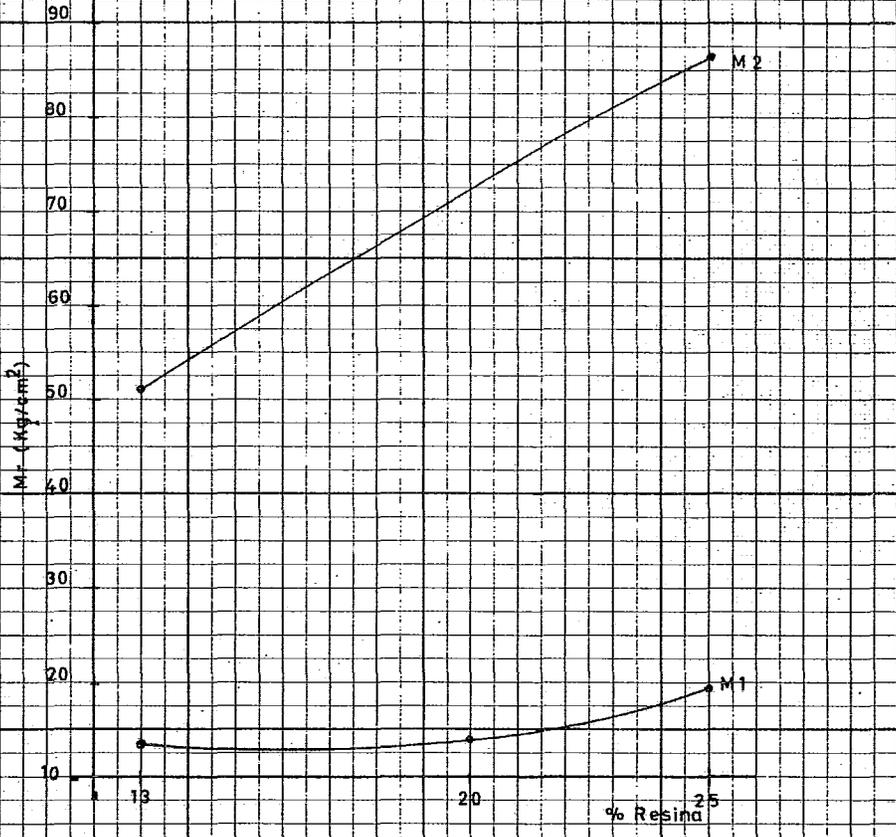
Modulo de rúptura.

Análisis: Espesor de tablero

GRAFICA A

El comportamiento presentado por la propiedad como una función del espesor es característico, y es de que a un menor espesor manteniendo las otras variables de proceso - - constantes se incrementa la densidad del tablero lo cual se refleja en el módulo de rúptura, es de notarse el valor de-- 20% de resina como un punto importante en el cambio de pen-- diente y de comportamiento del material, punto desde el cual se incrementa el valor del módulo de rúptura en ambos espeso res.

TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO				
79	—	95	L 1	M 2	e 2	T 2	θ 1
55	63	71	L 2	M 1	e 2	T 2	θ 1



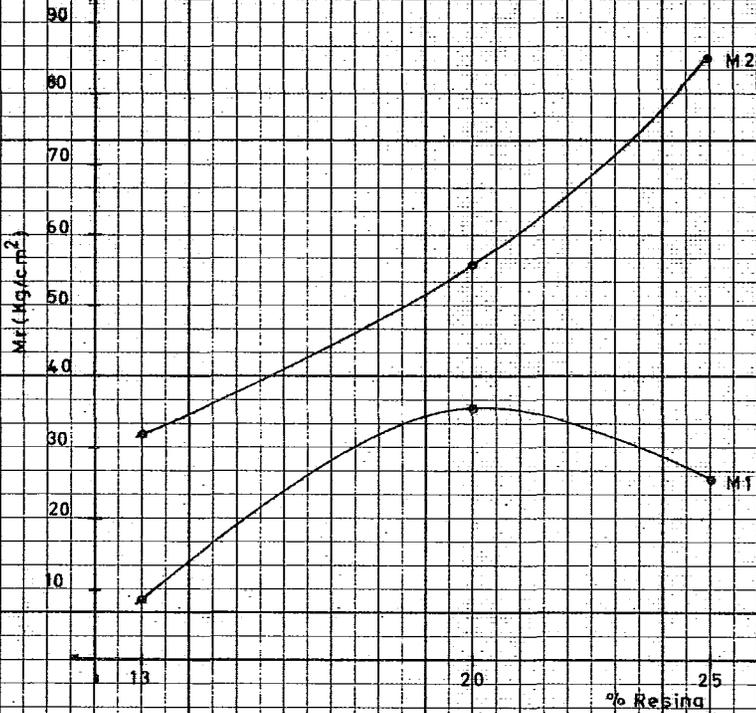
Gráfica B

## TABLEROS

## VARIABLES DE PROCESO

101 109 117 L 3 M 1 e 2 T 1 G 1

125 133 141 L 3 M 2 e 2 T 1 G 1



Gráfica C.

Módulo de ruptura.

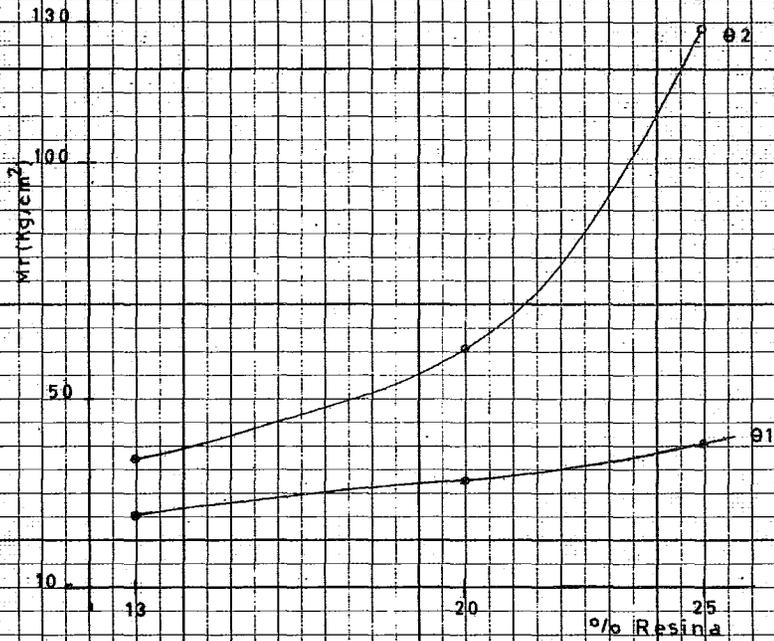
Análisis: Masa de bagazo

GRAFICA B y C

Se puede determinar a partir de las gráficas anteriores que una de las influencias más claras dentro del comportamiento de la propiedad se tiene la masa de bagazo, esto define una mayor densidad del tablero, como se observa en la gráfica B.

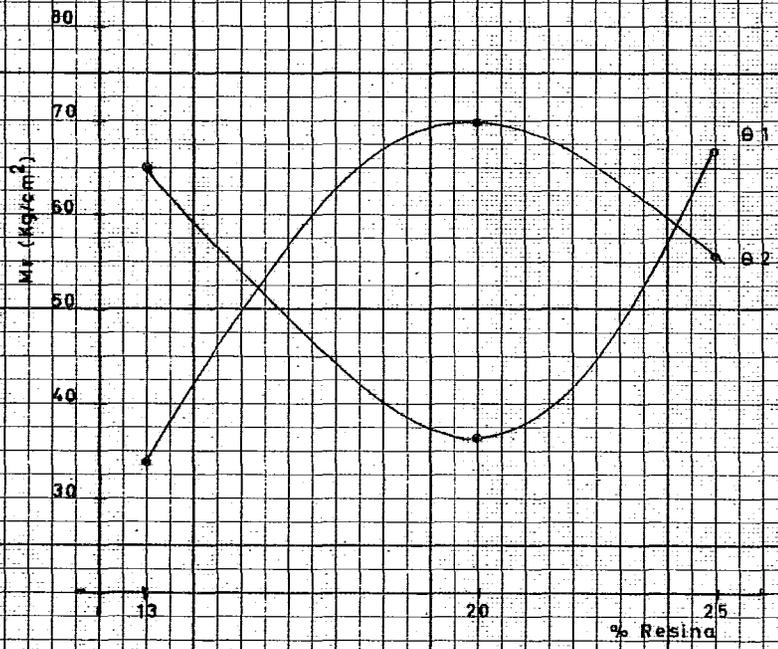
En la gráfica C, se observa una variación en la -- propiedad para M1 a la mayor concentración de resina, esta - variación caracteriza condiciones críticas de proceso punto- desde el cual la propiedad física se incrementa.

TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO				
5	13	21	L1	M1	e2	T1	θ1
6	14	22	L1	M1	e2	T1	θ2



Gráfica D

TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO				
7	15	23	L 1	M 1	e 2	T 2	θ 1
8	16	24	L 1	M 1	e 2	T 2	θ 2



Gráfica E

Módulo de ruptura.

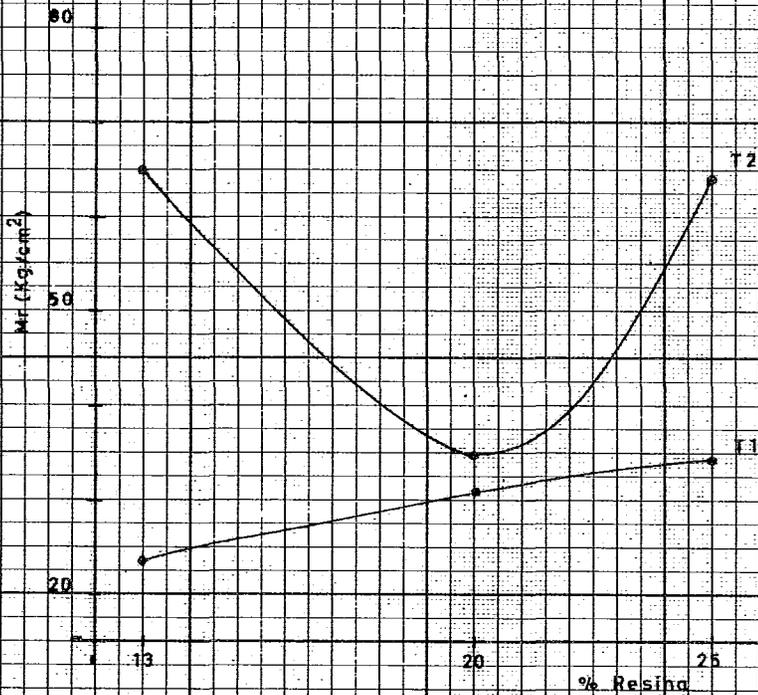
Análisis: Tiempo de prensado

GRAFICAS D y E

La influencia de la secuencia de prensado ó sea el tiempo de curado de la resina no tiene un efecto definido de acuerdo al análisis realizado de las gráficas D y E, siendo de interes realizar pruebas para determinar el tiempo mínimo necesario a emplear para la elaboración de cada tablero visualisandose una reducción en costo de energia requerida.

La influencia de la secuencia de prensado presenta una gran influencia en los procesos bajo los cuales se desarrollan los tableros numerados para los cuales es necesaria una modificación de temperatura ó secuencia de tiempos de prensado.

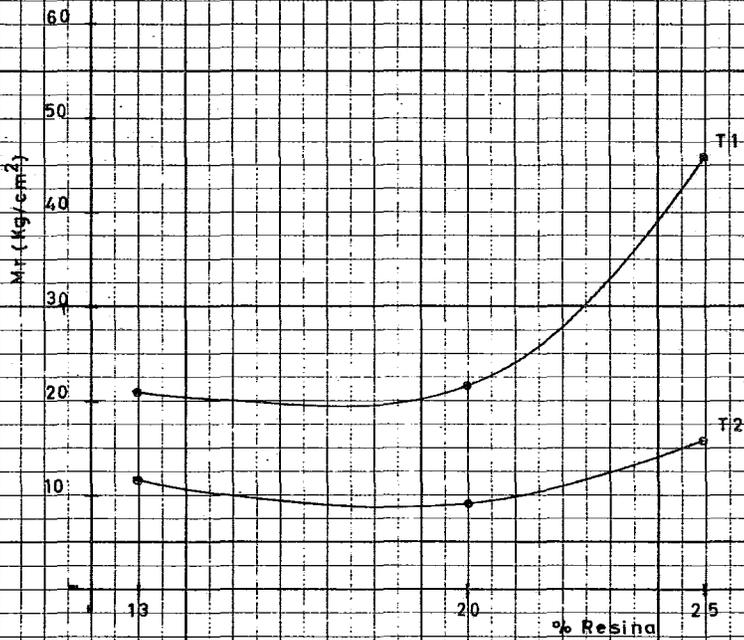
TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO				
5	13	21	L1	M1	e 2	T1	Ø1
7	15	23	L1	M1	e 2	T2	Ø1



Gráfica F.

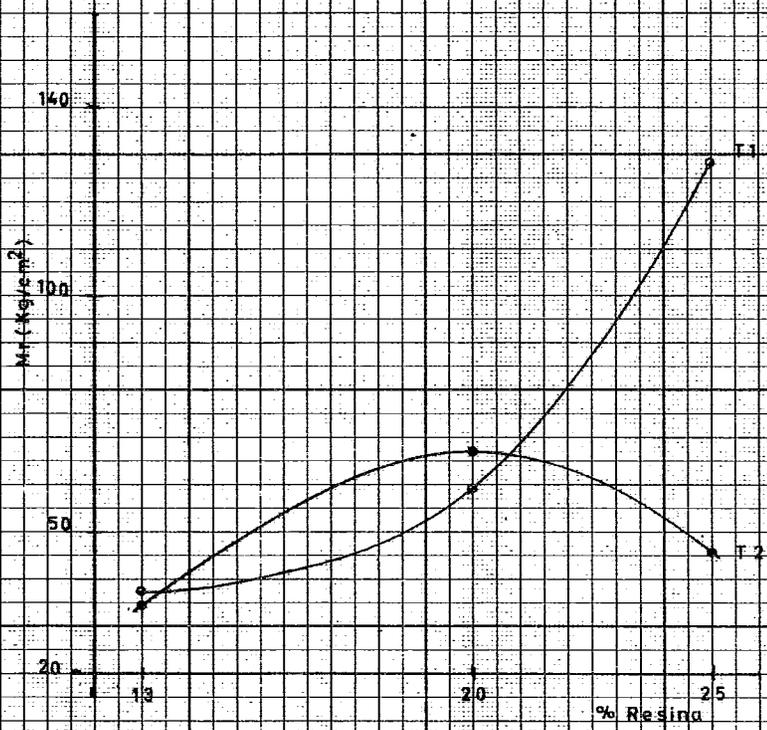
TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO					
53	61	69	L 2	M 1	e 2	T 1	Ø 1	
55	63	71	L 2	M 1	e 2	T 2	Ø 1	

53	61	69	L 2	M 1	e 2	T 1	Ø 1
55	63	71	L 2	M 1	e 2	T 2	Ø 1



Gráfica G

TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO				
6	14	22	L1	MT	e 2	T1	Ø 2
8	16	24	L1	MT	e 2	T2	Ø 2

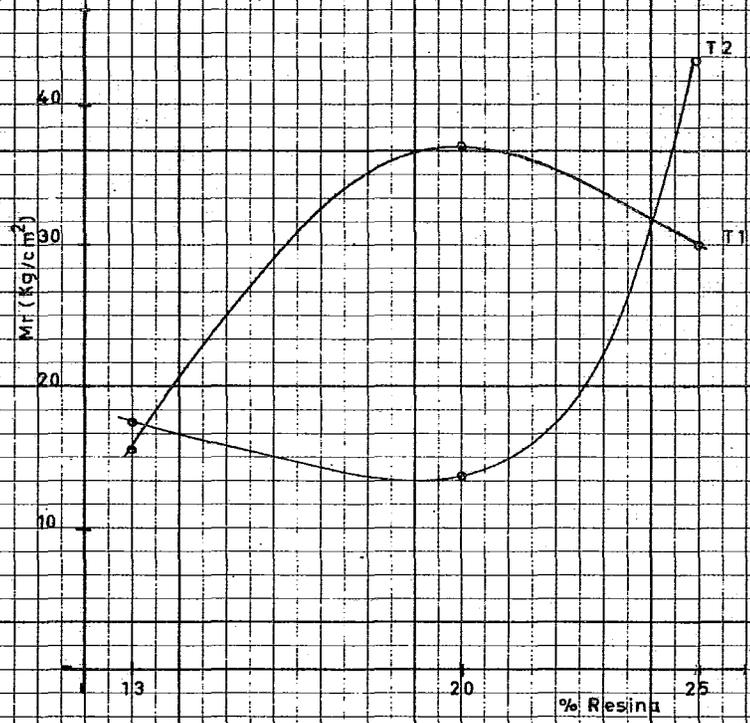


Gráfica H

TABLEROS

VARIABLES DE PROCESO

54	62	70	L 2	M 1	e 2	T 1	θ 2
56	64	72	L 2	M 1	e 2	T 2	θ 2



Gráfica I

Módulo de ruptura.

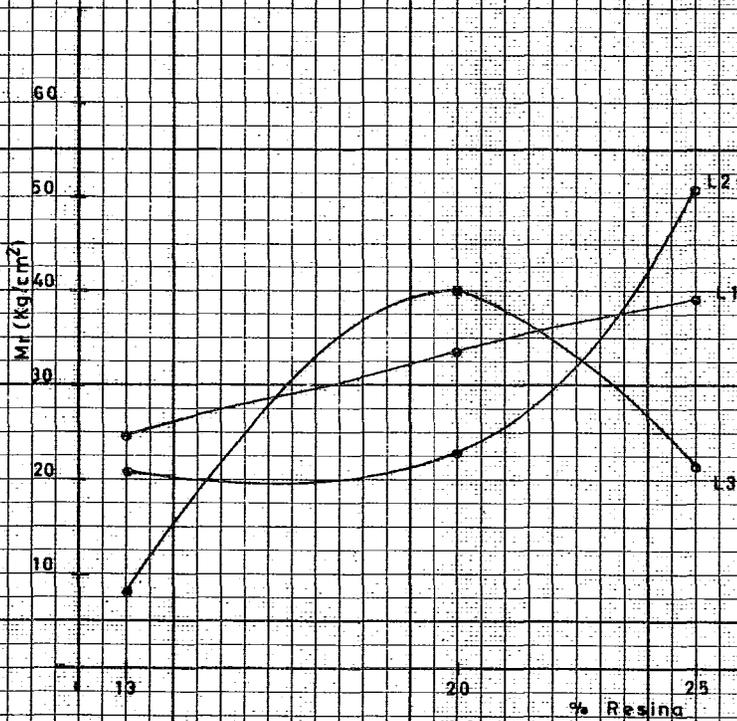
Análisis: Temperatura de prensado

GRAFICAS F, G, H e I

A partir de las gráficas anteriores no se observa un patrón definido de comportamiento, de lo cual se puede determinar que el rango de temperatura empleado en el diseño experimental no tiene una influencia determinante en la propiedad, sin embargo las propiedades mayores de módulo de ruptura se obtuvieron para T1 (130°C), en determinadas condiciones de proceso.

Se considera que L1 es aproximadamente igual a L2 (longitudes de fibra), en base a lo cual se puede considerar que las gráficas F y G son comparables entre si, como también lo son las gráficas H e I.

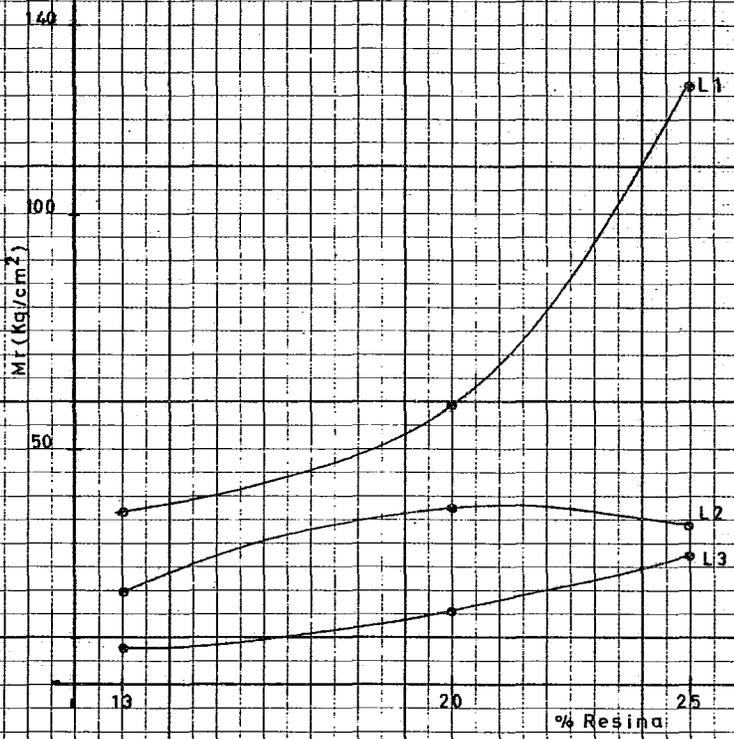
TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO				
5	13	21	L1	M1	e 2	r 1	θ 1
53	61	69	L2	M1	e 2	r 1	θ 1
101	109	117	L3	M1	e 2	r 1	θ 1



Gráfica J

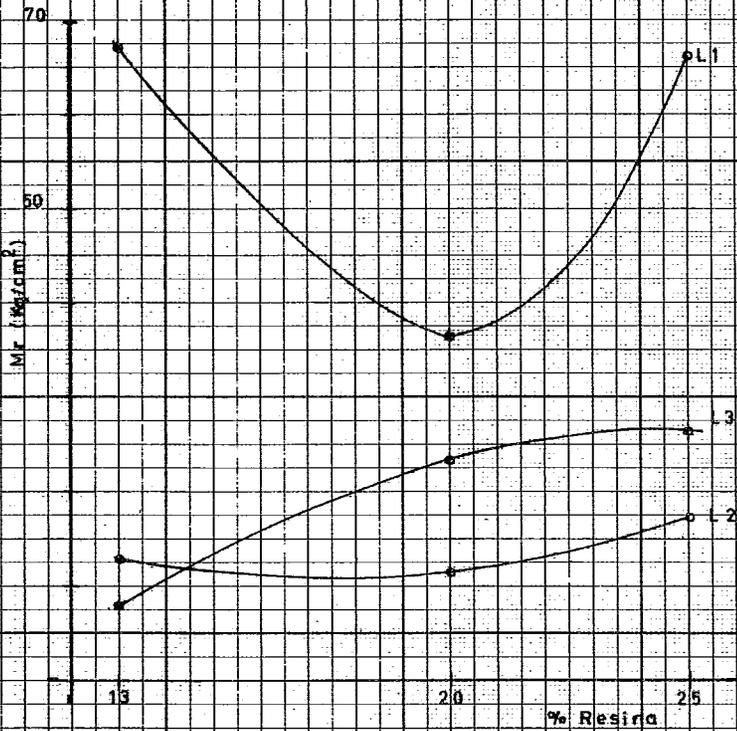
TABLEROS                      VARIABLES DE PROCESO

6	14	22	L 1	M 1	e 2	T 1	Ø 2
54	62	70	L 2	M 1	e 2	T 1	Ø 2
102	110	118	L 3	M 1	e 2	T 1	Ø 2



Gráfica K

TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO					
7	15	23	L 1	M 1	e 2	T 2	Ø 1	
55	63	71	L 2	M 1	e 2	T 2	Ø 1	
103	111	119	L 3	M 1	e 2	T 2	Ø 1	



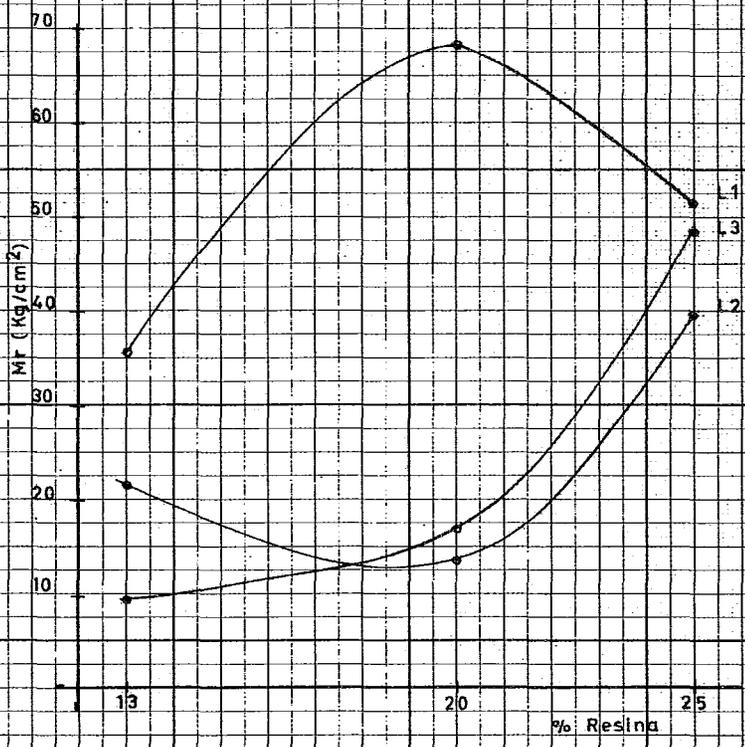
Gráfica L

TABLEROS                      VARIABLES DE PROCESO

9      16      24      L 1    M 1    e 2    T 2    θ 2

56    64      72      L 2    M 1    e 2    T 2    θ 2

104    112    120      L 3    M 1    e 2    T 2    θ 2



Gráfica M

Módulo de ruptura.

Análisis: Longitud de fibra

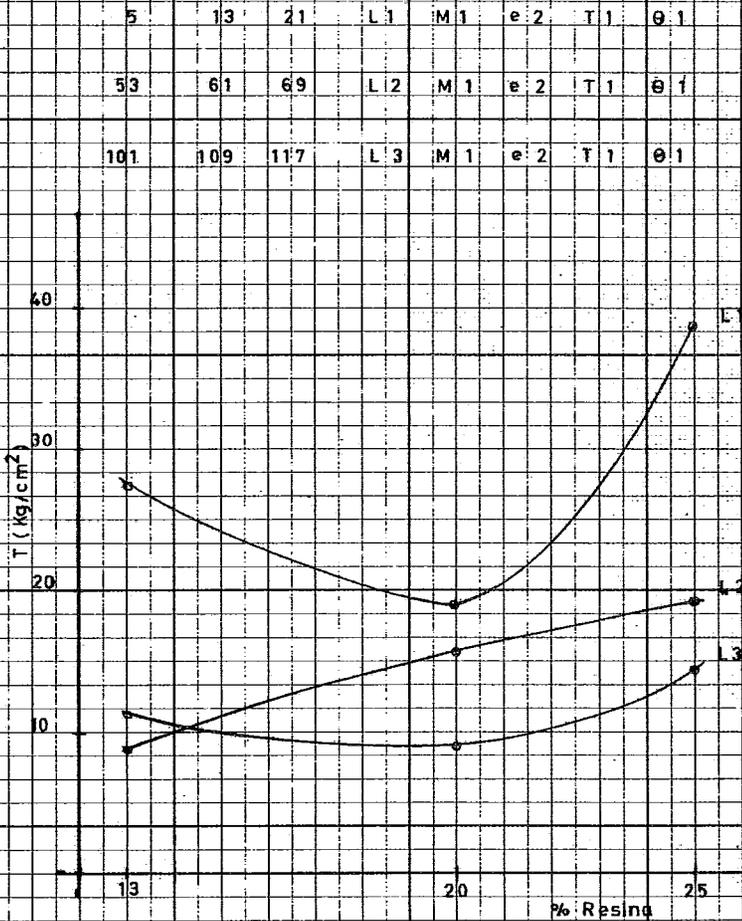
GRAFICAS J, K, L y M

Debido a las longitudes de fibras promedio para --  
L1=22,10 mm y de L2=20.62 mm, podemos considerar que L1 es --  
aproximadamente igual a L2.

En el conjunto de gráfica J y K se tiene una mayor  
propiedad para L1 y L2 que para L3.

De igual manera se observa que para las gráficas --  
L y M es predominante la propiedad para una longitud de fibra  
de L1.

TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO					
5	13	21	L1	M1	e 2	T1	0.1	
53	61	69	L2	M1	e 2	T1	0.1	
101	109	117	L3	M1	e 2	T1	0.1	



Gráfica N

## TABLEROS

## VARIABLES DE PROCESO

6	14	22	L 1	M 1	e 2	T 1	Ø 2
54	62	70	L 2	M 1	e 2	T 1	Ø 2
102	110	118	L 3	M 1	e 2	T 1	Ø 2

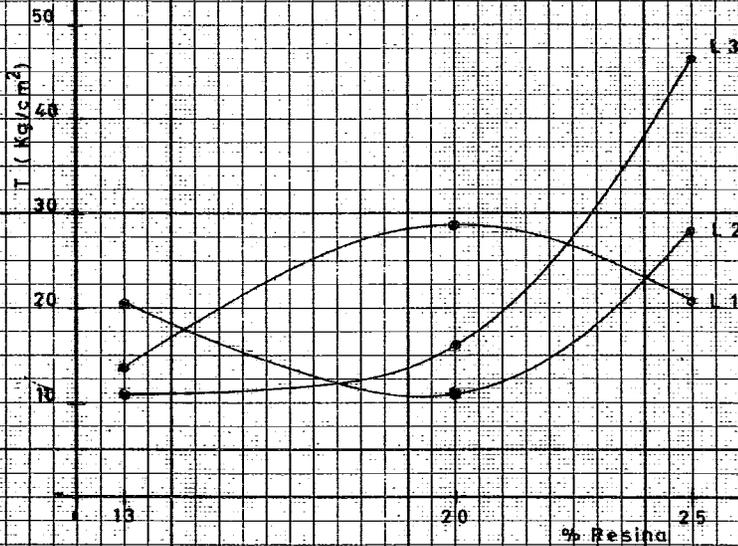
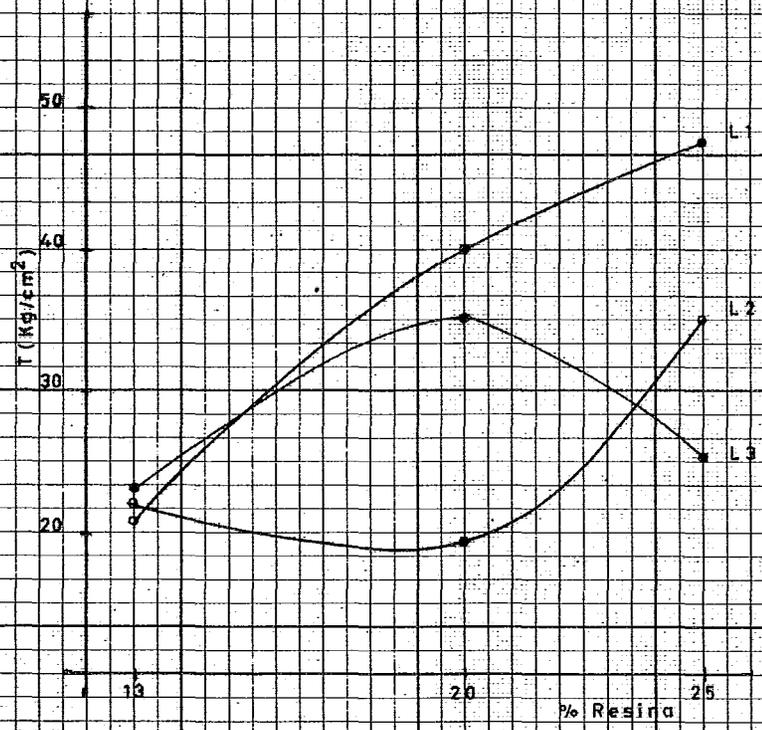


Gráfico 0

TABLEROS

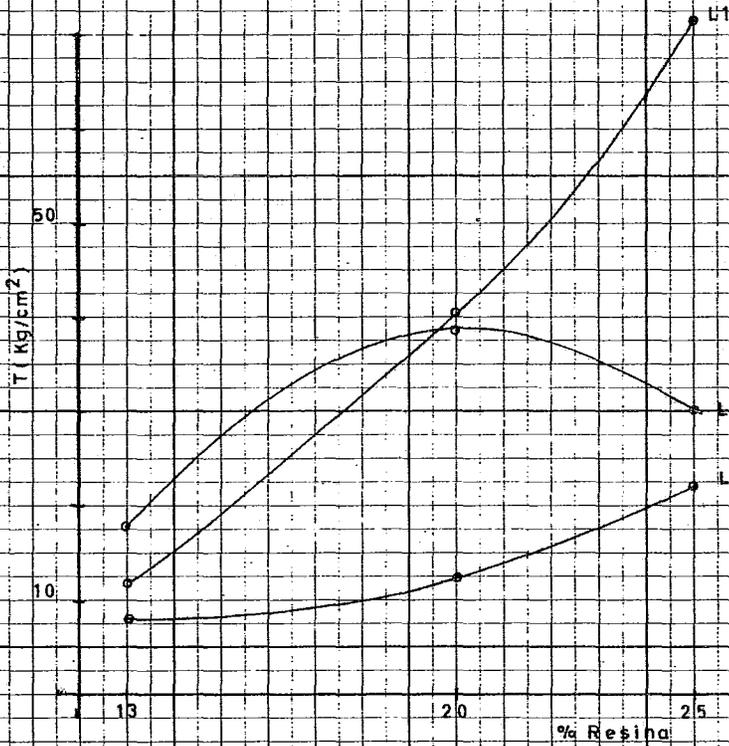
VARIABLES DE PROCESO

7	15	23	L 1	M 1	e 2	T 2	Ø 1
55	63	71	L 2	M 1	e 2	T 2	Ø 1
103	111	119	L 3	M 1	e 2	T 2	Ø 1



Gráfica P

TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO				
8	16	24	L 1	M 1	e 2	T 2	θ 2
56	64	72	L 2	M 1	e 2	T 2	θ 2
104	112	120	L 3	M 1	e 2	T 2	θ 2



Gráfica Q

Tensión paralela a la superficie

Análisis: Longitud de fibra

GRAFICAS N, O, P y Q

De las gráficas analizadas no se puede emitir una conclusión determinante en una posible influencia de las diferentes longitudes de fibra en la propiedad.

Las variaciones observadas en la propiedad son el resultado de la conjugación de las variables de proceso involucradas y presentan una mayor ó menor influencia en las propiedades dependiendo en que condiciones sea más apreciable su influencia. Sin embargo en una tendencia susceptible de un estudio más profundo se recomienda la utilización de fibra larga dando un posible incremento en la propiedad.

## TABLEROS

## VARIABLES DE PROCESO

79

55

L 2

M 2

e 2

T 2

Ø 1

55

63

71

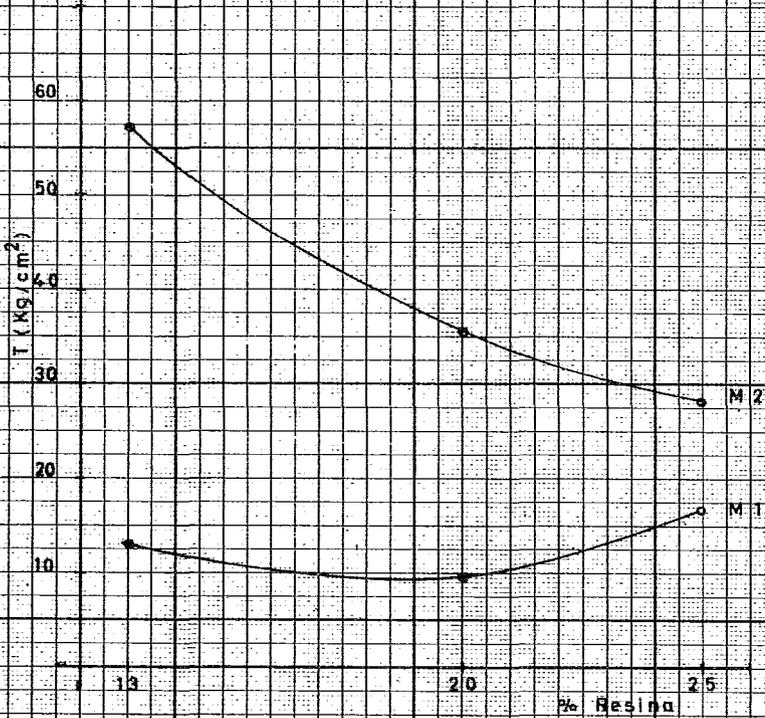
L 2

M 1

e 2

T 2

Ø 1

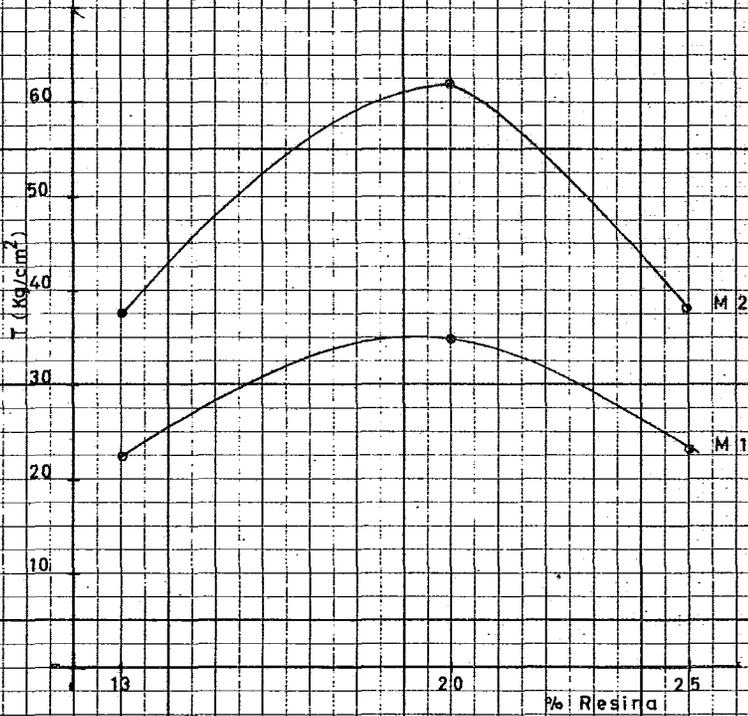


Gráfica R

## TABLEROS

## VARIABLES DE PROCESO

101	109	117	L 3	M 1	e 2	T 1	Ø 1
125	133	141	L 3	M 2	e 2	T 1	Ø 1



Gráfica 5

Tensión paralela a la superficie

Análisis: Masa de bagazo

### GRAFICAS R y S

Se tiene una mayor propiedad para los tableros desarrollados con una masa de bagazo de 1.5 Kg (M2) que para los que tienen 1.0 Kg (M1).

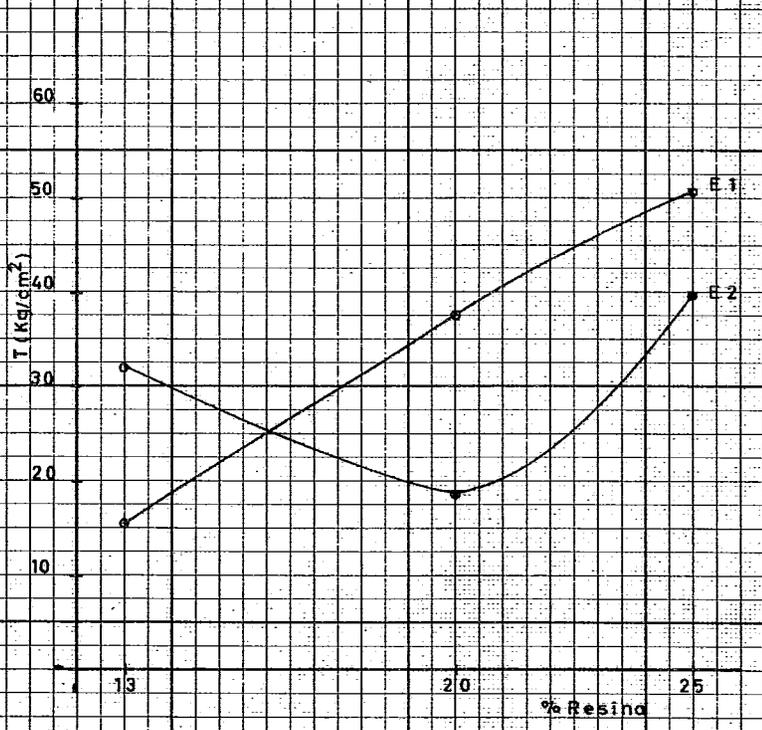
Lo cual nos conduce indirectamente a una propiedad que resulta determinante para las propiedades desarrolladas por el tablero, esta propiedad es la densidad del material.

Esta aumenta al tener una mayor cantidad de bagazo para las mismas condiciones que para una menor masa de bagazo.

En estas gráficas se aprecia una zona de operación poco recomendable para tableros que se elaboren y en los cuales se requiera una resistencia de trabajo a la tensión esta zona es la de alta concentración de resina en la cual las propiedades decaen para las condiciones de proceso establecidas por el diseño experimental.

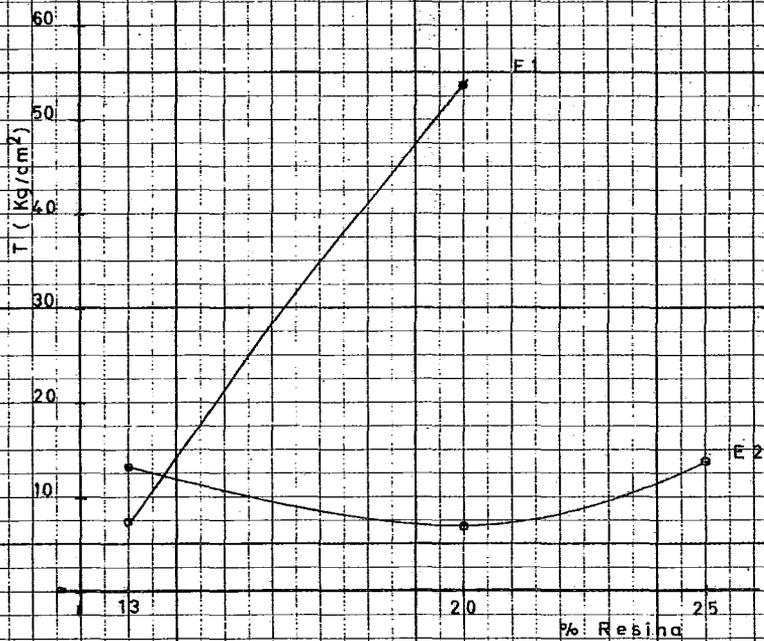
TABLEROS VARIABLES DE PROCESOS

7	15	23	L 1	M 1	e 2	T 2	Ø 1
3	11	19	L 1	M 1	e 1	T 2	Ø 1



Gráfica T

TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO				
55	63	71	L 2	M 1	e 2	T 2	θ 1
51	59	—	L 2	M 1	e 1	T 2	θ 1



Gráfica U

Tensión paralela a la superficie

Análisis: Espesor del tablero

GRAFICAS T y U

A baja concentración de resina (13%), se tiene -- una mayor contribución a la propiedad para espesores de e2- (3/4 pulg), producido probablemente por una diferente difusión de la resina en el interior del tablero, debido al -- constreñimiento del material fibroso impregnado de resina -- para un espesor menor produciendose una distribución forzada por el efecto de exprimido que sufre la fibra al ser -- prensada.

En las concentraciones de resina de 15 y 20% se -- tiene una estrecha relación del incremento de la propiedad -- con el aumento de la densidad del material por la reducción del espesor en el tablero.

## TABLEROS

## VARIABLES DE PROCESO

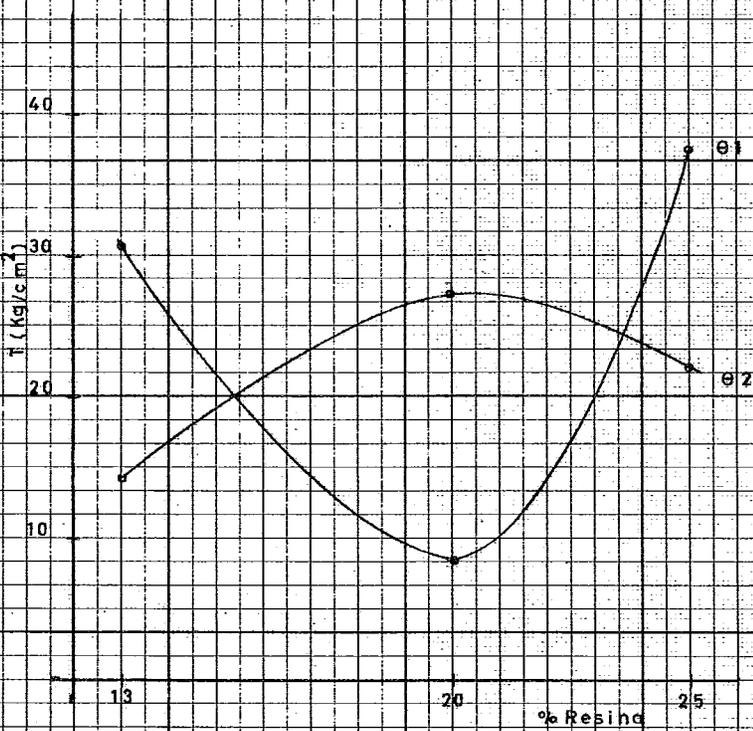
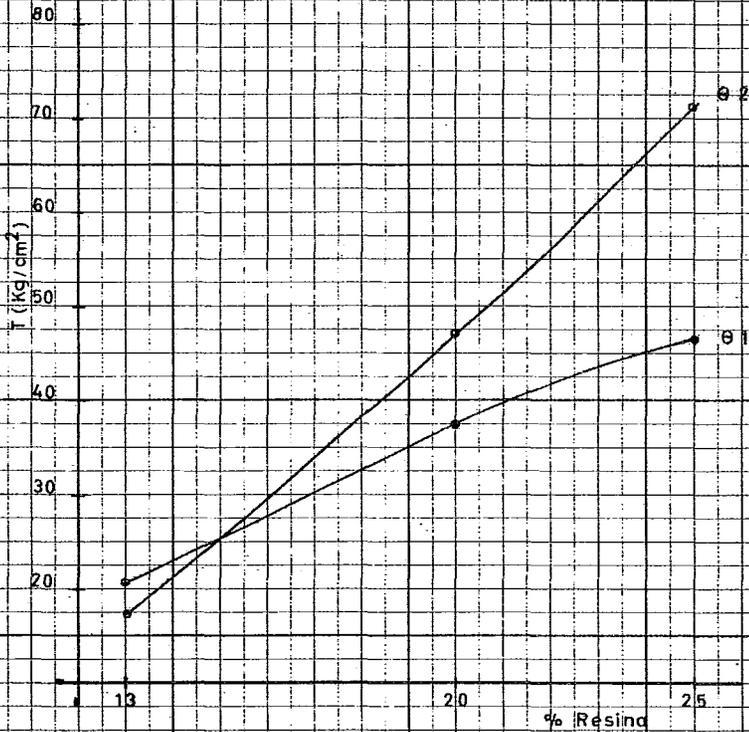
7 15 23 L 1 M 1 e 2 T 2  $\theta$  18 16 24 L 1 M 1 e 2 T 2  $\theta$  2

Gráfico W

TABLEROS			VARIABLE DE PROCESO				
5	13	21	L 1	M 1	e 2	T 1	$\theta$ 1
6	14	22	L 1	M 1	e 2	T 1	$\theta$ 2



Gráfica V

Tensión paralela a la superficie.

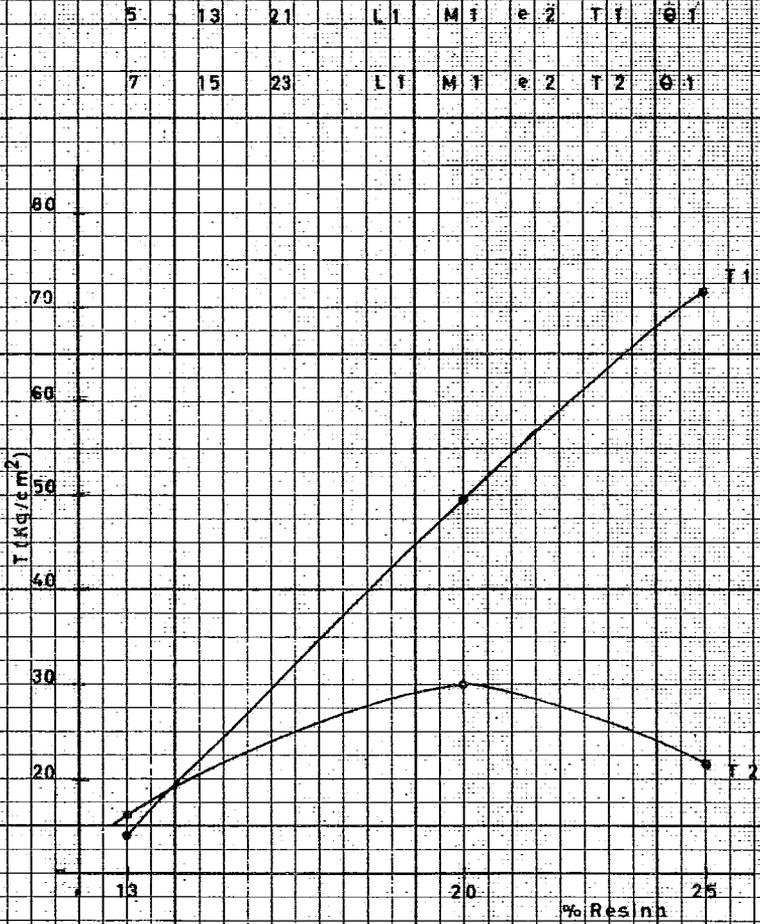
Análisis: Tiempo de prensado

GRAFICAS V y W

Las gráficas desarrolladas para determinar la influencia de los tiempos de prensado en el valor de la propiedad mecánica no determina ningún tipo de relación existente entre esta variable y el valor de la propiedad obtenida.



TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO				
5	13	21	L1	M1	e 2	T1	0.1
7	15	23	L1	M1	e 2	T2	0.1



Gráfica XI.

## TABLEROS

## VARIABLES DE PROCESO

101 109 117

L 3 M 1 e 2 T 1  $\theta$  1

103 111 119

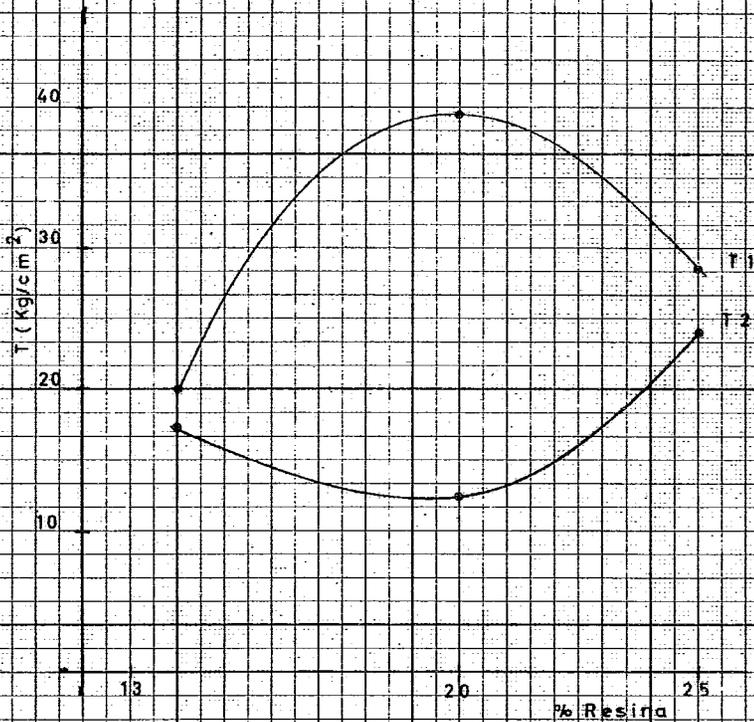
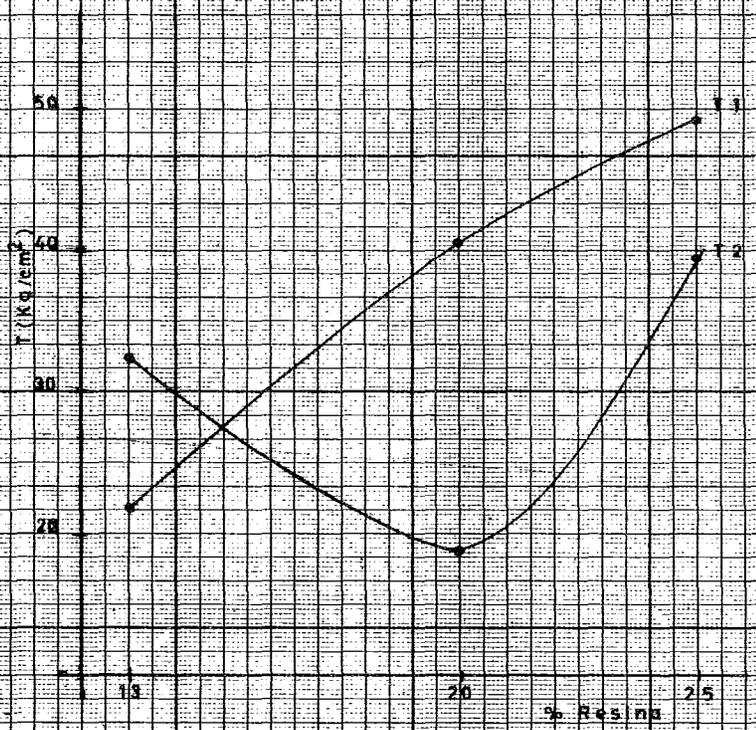
L 3 M 1 e 2 T 2  $\theta$  1

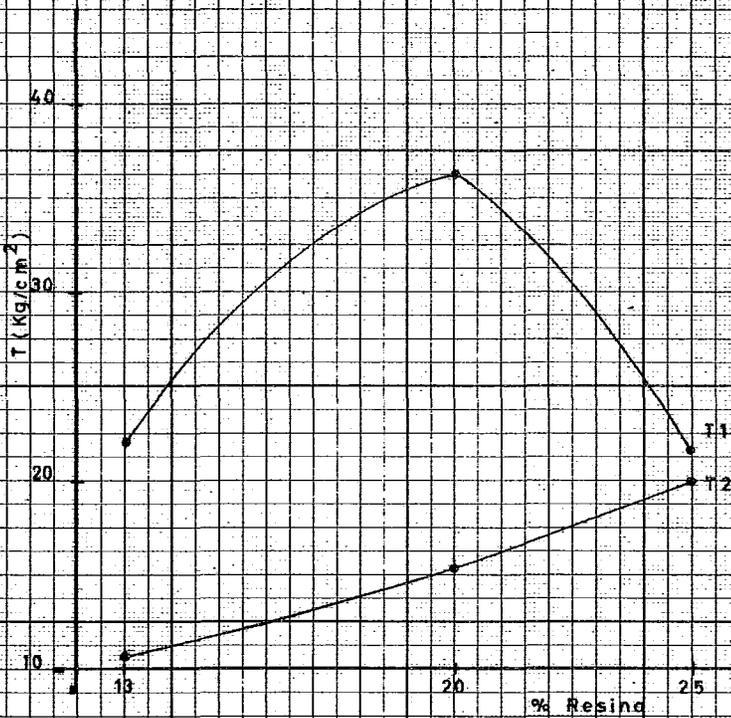
Gráfico y

TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO				
6	14	22	L1	M1	* 2	T1	0 2
8	18	24	L1	M1	* 2	T2	0 2



Gráfica Z<sub>1</sub>

TABLEROS			VARIABLES DE PROCESO					
54	62	70	L 2	M 1	e 2	T 1	Ø 2	
56	64	72	L 2	M 1	e 2	T 2	Ø 2	

Gráfica Z<sub>2</sub>

Tensión paralela a la superficie

Análisis: Temperatura de prensado

GRAFICAS X, Y Z<sub>1</sub> y Z<sub>2</sub>

De la evaluación de los resultados gráficos existe una tendencia a mejores propiedades para los tableros elaborados a la temperatura T1 (130°C).

En base a los resultados obtenidos en la propiedad se considera recomendable basarse en las variables de proceso establecidas en la gráfica X, para desarrollar tableros con características óptimas de resistencia a la tensión paralela a la superficie.

7.0.- SELECCION DE ESPECIMENES REPRESENTATIVOS DE ALTA MEDIADA Y BAJA DENSIDAD CON CARACTERISTICAS MECANICAS OPTIMAS.

De los materiales con propiedades mecánicas óptimas teniendo como base las propiedades desarrolladas por los tableros aglomerados con partículas de madera, se seleccionaron y agruparon de acuerdo a la densidad aparente de cada material, subdividiéndose en:

	g/cm <sup>3</sup>
Materiales de alta densidad .....	0.65 - 0.85
Materiales de mediana densidad .....	0.55 - 0.65
Materiales de baja densidad .....	0.30 - 0.50

tablero	características de proceso						densidad relativa		observaciones	
	L	M	%	e	T	θ	teórica	real		
							g/cm <sup>3</sup>			
29	1	2	1	1	1	2	0.80	— 1.00	0.8129	Densidad alta
19	1	1	3	1	2	1	0.70	— 0.75	0.7303	
46	1	2	3	2	1	2	0.66	— 0.68	0.6735	
37	1	2	2	2	1	1	0.62	— 0.64	0.6333	Densidad media
4	1	1	1	1	2	2	0.60	— 0.61	0.6083	
30	1	2	1	2	1	2	0.54	— 0.57	0.5576	
22	1	1	3	2	1	2	0.44	— 0.47	0.4767	Densidad baja
T4	1		2	1	1	1	—	—	0.4265	
7	1	1	1	2	2	1	0.38	— 0.40	0.3841	

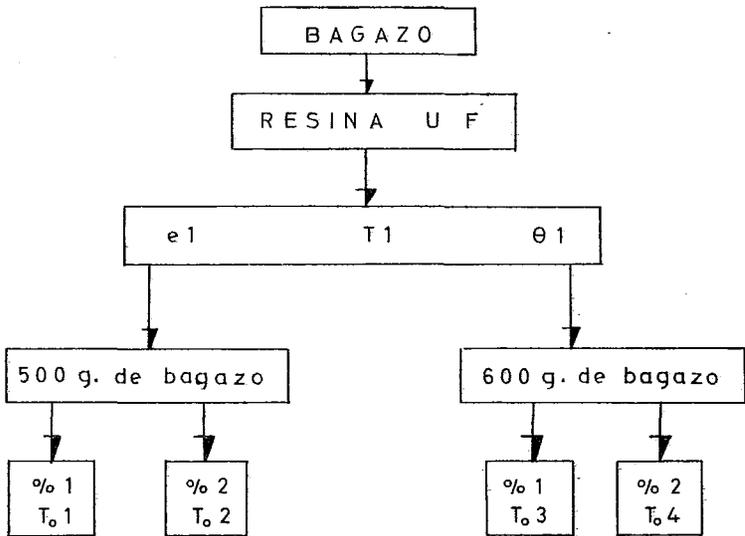
Los cálculos para determinar la densidad relativa teórica se realizan en base a las combinaciones posibles de las variables de proceso que determinan la densidad relativa como lo son: masa de gangazo, porcentaje de resina y espesor.

## 8.0.- ELABORACION DE ESPECIMENES REPRESENTATIVOS 2a. ETAPA

Se procede a la elaboración de especímenes representativos con características mecánicas óptimas en relación con la madera, con los mismos parámetros ajustando las formulaciones para la elaboración de tableros de una dimensión mayor.

Al analizar las propiedades físico-mecánicas de la primera etapa preliminar de pruebas (144 materiales), se han seleccionado de acuerdo a las densidades relativas un grupo de tres materiales representativos de alta, mediana y baja densidad totalizando un bloque de nueve materiales a elaborarse.

Se ha buscado como característica en cada grupo de densidades que se disponga de tableros de los dos espesores seleccionados. De acuerdo a la selección realizada en el grupo de baja densidad solo se tienen tableros con espesores de 3/4 de pulgada, esto es debido a la restricción de un material de baja densidad de acuerdo al diagrama de producción general, al tomar espesores de 1/2 pulgada la densidad se eleva. Con esta restricción se realiza la elaboración de un diseño experimental específico para obtener tableros de baja densidad con espesores de 1/2 pulgada.



Diseño experimental específico

Tableros de baja densidad con espesores de 1/2 pulg.

Donde:

- e espesor nominal
- T temperatura
- θ tiempo de prensado
- % porcentaje de resina
- T<sub>o</sub> tablero

Secuencia de cálculo para tableros de baja densi--  
dad con espesores de 1/2 pulgada.

$$M_r + M_b = M_t$$

$$M_r = M_t - M_b$$

$$\% R = \frac{M_r}{M_t} = \frac{M_t - M_b}{M_t} = 1 - \frac{M_b}{M_t}$$

$$- \%R + 1 = \frac{M_b}{M_t} \quad \frac{M_t}{M_b} \quad \frac{1}{1 - \%R} \quad M_t \quad \frac{M_b}{1 = \%R}$$

$$\underline{T1} \quad M_t = \frac{500}{1 - 0.2} = \frac{500}{0.8} = 625 \text{ g.}$$

$$M_r = 625 - 500 = 125 \text{ g.}$$

DONDE:

$M_r$  : Masa de resina

$M_b$  : Masa de bagazo

$M_t$  : Masa total

$\%R$  : % de resina

$$T2 \quad M_t = \frac{500}{1 - 0.3} = \frac{500}{0.7} = 714.2 \text{ g}$$

$$M_r = 714.2 - 500 = 214.2 \text{ g.}$$

$$T3 \quad M_t = \frac{600}{1 - 0.2} = 750 \text{ g.}$$

$$M_r = 760 - 600 = 150 \text{ g.}$$

$$T4 \quad M_t = \frac{600}{1 - 0.3} = 857.14 \text{ g.}$$

$$M_r = 857.14 - 600 = 257.14 \text{ g.}$$

TABLERO	MASA DE BAGAZO	MASA DE RESINA	% DE RESINA
T1	500 g.	125 g.	20
T2	500 g.	214.2 g.	30
T3	600 g.	150.0 g.	20
T4	600 g.	267.1 g.	30

De acuerdo al diseño experimental específico se desarrollarán los materiales T1, T2, T3 y T4, sometiendo a las pruebas de tensión paralela a la superficie y módulo de ruptura con los siguientes resultados:

TABLERO No.	Tensión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de ruptura (Kg/cm <sup>2</sup> )
T1	6.963	45.45
T2	19.716	42.01
T3	31.570	63.91
T4	37.966	95.60

De las pruebas realizadas en base a las especificaciones del código A. S. T. M. y los resultados obtenidos se ha seleccionado como material representativo de baja densidad y con espesor de 1/2 pulgada el tablero codificado como T4.

Con los resultados obtenidos se tiene completa la tabla de materiales con propiedades mecánicas óptimas.

A continuación se desarrollan los cálculos necesarios para realizar la elaboración de los tableros que serán utilizados en la segunda etapa de pruebas físico-mecánicas, la escalación se desarrolla en base a los tableros originales que tienen una dimensión de 42 por 42 cm. y observando las mismas características de longitud de partícula, masa de ba

gazo, porciendo de resina, espesor, temperatura y tiempo de prensado para obtener tableros con dimensiones de 70 por 70 cms.

Tablero # 22                      Caracteristicas de proceso.

L	M	%	e	T	Θ
1	1	3	2	1	2

		% Real en Peso
Masa de bagazo .....	1 000 g	74.00
Masa de solución de resina ...	350 g.	26.00
Total .....	1 350 g.	100.00

Densidad teórica =  $0.447 \text{ g/cm}^3$

Masa total = densidad teórica (volumen del molde)

Masa total =  $(0.447 \text{ g/cm}^3) (7854 \text{ cm}^3) = 3520 \text{ g.}$

Considerando perdidas del 10%

Masa total = 3872 g.

Masa de bagazo = 2826 g.

Masa de resina = 1012 g.

Secuencia de tiempo de prensado original

(7 / 1 / 5 ) mins., (prensado/respiración/prensado)

Secuencia de tiempo de prensado modificada por necesidades -  
de procesamiento.

La experimentación en la primera etapa da por resultado una secuencia de prensado a temperatura mediante la cual la relación masa de resina-partícula puede ser procesada --

tablero	bagazo Kg	resina Kg	%B. %R inicial	% B %R corregido	T °C	tiempo de prensado minutos $\theta$
29	5.2	1.3	87 13	80 20	110	2 2 2 2
19	3.8	1.25	74 26	75 25	110	1.5 1.5 1.5 2 2 2
46	4.6	1.70	74 26	73 27	110	2 2 2 1
37	4.2	1.70	80 20	80 20	110	2 1 1 3
4	2.8	0.42	87 13	87 13	145	3 3 4
30	4.1	0.90	87 13	82 18	130	3 3 4
22	2.9	1.00	74 26	75 25	130	3 3 5
T 4	1.7	0.71			130	2 3 3
7	2.7	0.41	87 13	87 13	145	2 3 3

donde    % B    porcentaje de bagazo  
           % R    porcentaje de resina

TABLA 2

Variables determinadas para el proceso de elaboración en tableros para la  
segunda etapa de pruebas.

sin provocar ranuración ni defectos de superficie en el tablero terminado.

( 3 / 0.5 / 3 / 0.5 / 5 ) mins.

(prensado/respiración/prensado/respiración/prensado)

Densidad relativa final =  $0.4767 \text{ g/cm}^3$

Se presentan a continuación los cálculos resumidos en forma de tabla con las modificaciones establecidas en el proceso de elaboración.

NOTA.- EN LA TABLA ANTERIOR SE REPORTA SOLO TIEMPOS EFECTIVOS DE PENSADO SIENDO LOS INTERVALOS DE RESPIRACION INTERCALADOS Y CON UNA DURACION DE 30 SEGUNDOS.

Tableros con modificaciones sustanciales en lo referente a formulación.

<u>Tablero</u>	<u>Causa</u>
29	Demasiado bagazo para el <u>es</u> pesor deseado.
30	Ajuste de densidad.

#### MODIFICACIONES DE TEMPERATURA.

Se realiza específicamente para tableros de alta densidad con el propósito de eliminar la posible ranuración interna característica a elevada temperatura y cortos intervalos de respiración.

### 8.1.- SELECCION DE PRUEBAS SEGUNDA ETAPA.

Para esta segunda etapa de pruebas se realizarán - las siguientes pruebas.

- a).- Tensión perpendicular a la superficie
- b).- Tensión paralela a la superficie
- c).- Módulo de ruptura
- d).- Extracción de cabeza de clavo a través del ta  
blero.
- e).- Extracción lateral de clavo.
- f).- Extracción directa de clavo
- g).- Extracción de tornillo del canto
- h).- Extracción directa de tornillo
- i).- Absorción de agua.
- j).- Hinchamiento del espesor
- k).- Contenido de humedad del tablero
- l).- Densidad relativa.

### DIAGRAMA DE CORTE.

Con las restricciones inherentes a las dimensiones del tablero se implementa un diagrama de corte de especímenes de prueba, figura 11.

Se toma como base el diagrama presentado por el -- código seleccionado de A.S.T.M.

El diagrama de corte presenta modificaciones debidas a la reducida área disponible de material lograndose una distribución de especímenes de prueba lo más aproximado posible al tomado como base.

Los especímenes estan codificados de la siguiente manera en el diagrama de corte.

<u>ESPECIMEN</u>	<u>PRUEBA</u>
E L C	Extracción lateral de clavo
E C	Extracción directa de clavo
E C C	Extracción de cabeza de clavo a través del tablero
E T	Extracción directa de tornillo
M R	Módulo de ruptura.
T	Tensión paralela a la superficie
B	Tensión perpendicular a la superficie
W	Absorción de agua e hinchamiento del espesor.
E T	Extracción de tornillo del canto del tablero.
E T	Contenido de humedad.

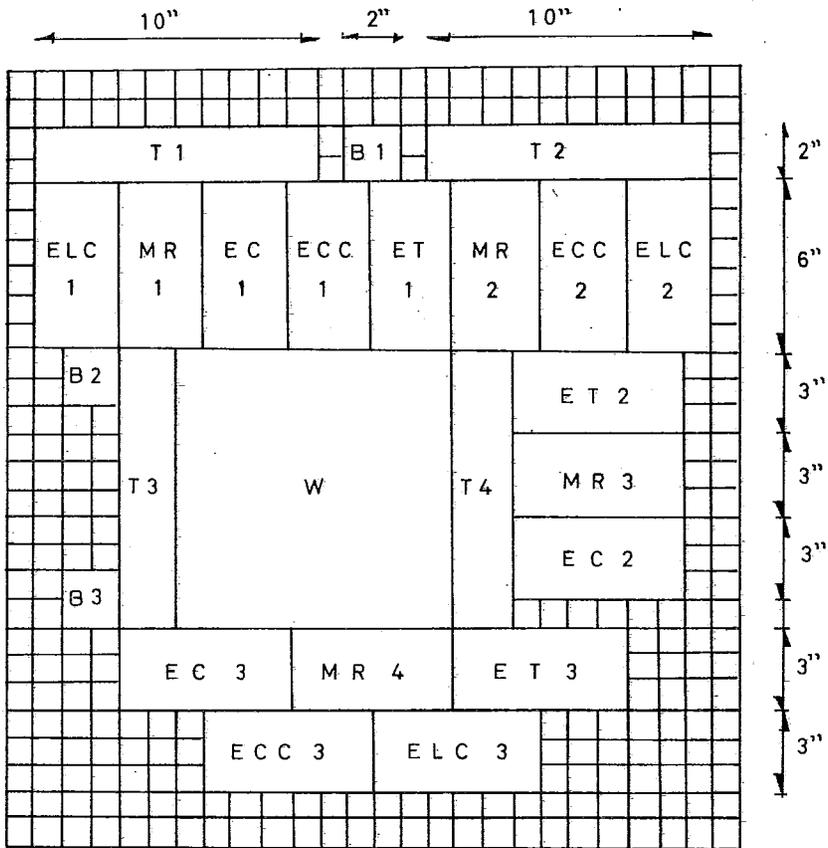


Figura 11.- Diagrama de corte  
 A.S.T.M. D-1037-72a  
 pagina 316  
 parte 22

## 8.2.- REALIZACION DE PRUEBAS SEGUNDA ETAPA

Las pruebas se realizan de acuerdo a las especificaciones fijadas por la norma seleccionada y con el mismo -- equipo de pruebas utilizado en la primera etapa de pruebas.

Para una explicación más clara en caso de dudas se presentan en los apéndices las normas para cada tipo de prueba.

## 9.0.- RESULTADOS

Los resultados se exponen a continuación en forma de tablas y con un registro de carga máxima.

Se especifican las características especiales cuando no se disponen de las seleccionadas por las normas.

Las características con que se realiza cada prueba fisicomecánicas, son enlistadas en el apéndice A, detallando la forma y condiciones de carga del espécimen.

## 9.1.- TENSION PERPENDICULAR A LA SUPERFICIE. 2a. ETAPA.

Consultar apéndice A1

Tablero #	Probeta #	Espesor (cm)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Carga máxima (Kg)
29	1	1.435	0.752	33.0
	2	1.460	0.765	----
	3	1.450	0.789	37.0
19	1	1.190	0.681	34.0
	2	1.185	0.730	48.0
	3	1.230	0.770	47.0
46	1	1.770	0.618	15.5
	2	1.740	0.648	18.0
	3	1.705	0.668	19.3
37	1	1.635	0.564	13.5
	2	1.650	0.605	24.0
	3	1.645	0.553	22.0
4	1	1.055	0.515	16.0
	2	1.065	0.622	24.0
	3	1.075	0.610	28.0
30	1	1.685	0.548	9.0
	2	1.685	0.536	11.5
	3	1.695	0.580	24.0
22	1	1.670	0.481	18.5
	2	1.660	0.435	21.5
	3	1.665	0.451	12.5
T4	1	1.020	0.442	15.0
	2	1.030	0.426	11.0
	3	1.025	0.439	20.7
7	1	1.585	0.387	4.0
	2	1.570	0.353	6.3
	3	1.535	0.330	----

Velocidad de cabezal : 1 mm/min.

TABLERO #	Probeta #	Tensión perpendicular a la su- perficie	
		Por probeta	promedio
29	1	1.278	1.355
	2	-----	
	3	1.433	
19	1	1.317	1.666
	2	1.860	
	3	1.821	
46	1	0.600	0.681
	2	0.697	
	3	0.747	
37	1	0.525	0.768
	2	0.930	
	3	0.852	
4	1	0.620	0.878
	2	0.930	
	3	1.085	
30	1	0.348	0.574
	2	0.445	
	3	0.930	
22	1	0.716	0.677
	2	0.833	
	3	0.484	
T4	1	0.581	0.387
	2	0.426	
	3	0.155	
7	1	0.155	0.199
	2	0.244	
	3	-----	

9.2.- EXTRACCION LATERAL DE CLAVO 2a. ETAPA  
 (a 3/4 del borde).  
 Consultar apéndice A2.

Tablero	Probeta	espesor	densidad	carga máxima
#	#	(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Kg)
29	1	1.495	0.815	129.2
	2	1.410	0.756	123.0
	3	1.555	0.848	127.3
19	1	1.265	0.842	90.0
	2	1.130	0.614	69.8
	3	1.155	0.697	94.0
46	1	1.795	0.639	107.8
	2	1.830	0.658	144.0
	3	1.700	0.589	81.6
37	1	1.635	0.577	80.0
	2	1.635	0.667	86.2
	3	1.690	0.599	109.4
4	1	1.095	0.688	66.0
	2	1.070	0.507	56.0
	3	1.075	0.560	39.0
30	1	1.695	0.449	52.0
	2	1.660	0.566	55.6
	3	1.745	0.541	66.3
22	1	1.665	0.447	34.0
	2	1.685	0.508	60.0
	3	1.660	0.435	33.5
T4	1	1.025	0.430	30.0
	2	1.070	0.431	33.0
	3	1.065	0.402	18.5
7	1	1.555	0.334	14.0
	2	1.570	0.338	15.2
	3	1.500	0.292	11.0

9.2.- EXTRACCION LATERAL DE CLAVO 2a. ETAPA  
(a 1/2" del borde).

Tablero	Probeta	espesor	densidad	carga máxima
#	#	(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Kg)
29	1	1.490	0.845	104.0
	2	1.475	0.722	74.8
	3	1.540	0.881	109.6
19	1	1.285	0.817	65.0
	2	1.185	0.690	64.0
	3	1.260	0.742	91.0
46	1	1.945	0.686	66.0
	2	1.905	0.706	74.0
	3	1.885	0.636	82.0
37	1	1.660	0.633	60.0
	2	1.665	0.648	66.5
	3	1.675	0.681	39.5
4	1	1.075	0.686	43.0
	2	1.075	0.594	38.8
	3	1.095	0.530	23.0
30	1	1.705	0.606	58.0
	2	1.660	0.598	46.5
	3	1.730	0.574	54.0
22	1	1.695	0.520	35.0
	2	1.695	0.506	28.0
	3	1.660	0.445	29.5
T4	1	1.040	0.413	18.0
	2	1.055	0.468	32.0
	3	1.060	0.389	22.0
7	1	1.095	0.599	27.0
	2	1.085	0.534	18.0
	3	1.190	0.444	15.8

9.2.- EXTRACCION LATERAL DE CLAVO 2a. ETAPA  
(a 1/4" del borde)

Tablero	Probeta	espesor	densidad	carga máxima
#	#	(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Kg)
29	1	1.490	0.835	41.0
	2	1.560	0.813	45.9
	3	1.575	0.864	55.9
19	1	1.245	0.780	39.5
	2	1.235	0.715	27.3
	3	1.340	0.788	32.6
46	1	1.910	0.680	29.6
	2	1.830	0.709	49.4
	3	1.825	0.696	43.8
37	1	1.660	0.704	32.1
	2	1.675	0.563	66.5
	3	1.665	0.694	52.2
4	1	1.070	0.688	32.8
	2	1.080	0.574	20.5
	3	1.095	0.606	16.3
30	1	1.695	0.567	36.8
	2	1.725	0.544	39.6
	3	1.750	0.609	24.3
22	1	1.680	0.442	9.9
	2	1.665	0.496	20.3
	3	1.665	0.478	29.0
T4	1	1.060	0.456	13.0
	2	1.105	0.479	6.8
	3	1.075	0.385	7.8
7	1	1.575	0.383	11.4
	2	1.660	0.357	9.0
	3	1.670	0.375	17.0

9.2.- EXTRACCION LATERAL DE CLAVO 2a ETAPA  
Promedios para cada tablero.

#	Extracción Lateral de Clavo (Distancia al borde)		
	1/4" carga máxima (KG)	1/2" carga máxima (KG)	3/4" carga máxima (KG)
29	47.566	96.133	126.500
19	33.133	73.600	84.600
46	40.933	74.000	67.533
37	50.266	55.333	91.866
4	23.200	34.933	53.666
30	33.5666	52.833	57.966
22	19.733	30.833	42.500
T4	9.200	24.000	27.166
7	12.466	20.266	13.400

Velocidad de cabezal: 5 mm/min.

9.3.- EXTRACCION DIRECTA DE CLAVO 2a ETAPA.  
Consultar apéndice A3.

Tablero	Probeta	espesor	densidad	carga máxima
#	#	(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(KG)
29	1	1.490	0.835	4.7
	2	1.560	0.813	6.8
	3	1.575	0.864	5.1
19	1	1.245	0.780	6.2
	2	1.235	0.715	5.0
	3	1.340	0.788	5.0
46	1	1.910	0.680	6.8
	2	1.830	0.709	10.5
	3	1.825	0.696	12.0
37	1	1.660	0.704	5.5
	2	1.675	0.563	3.5
	3	1.665	0.694	7.0
4	1	1.070	0.688	6.7
	2	1.080	0.574	2.0
	3	1.095	0.606	6.0
30	1	1.695	0.567	5.0
	2	1.725	0.544	8.0
	3	1.750	0.609	10.0
22	1	1.680	0.442	2.5
	2	1.665	0.496	4.0
	3	1.665	0.478	3.5
T4	1	1.060	0.456	1.3
	2	1.105	0.479	3.5
	3	1.075	0.385	1.0
7	1	1.575	0.383	1.0
	2	1.660	0.357	1.0
	3	1.670	0.375	1.0

Velocidad de cabezal: 2mm/min.

9.4.- EXTRACCION DE CABEZA DE CLAVO A TRAVES DEL TABLERO 2a. -  
ETAPA.

Consultar apéndice A4.

Tablero #	Probeta #	espesor (cm.)	densidad (g/cm <sup>3</sup> )	carga máxima (Kg)
29	1	1.490	0.845	70.0
	2	1.475	0.722	86.0
	3	1.540	0.881	74.0
19	1	1.285	0.817	82.7
	2	1.185	0.690	53.5
	3	1.260	0.742	53.0
46	1	1.945	0.686	61.5
	2	1.905	0.706	57.3
	3	1.885	0.636	56.5
37	1	1.660	0.633	30.0
	2	1.665	0.648	53.0
	3	1.675	0.681	41.0
4	1	1.075	0.686	43.0
	2	1.075	0.596	29.0
	3	1.095	0.530	25.5
30	1	1.705	0.606	36.5
	2	1.660	0.598	43.0
	3	1.730	0.574	45.5
22	1	1.695	0.520	47.0
	2	1.695	0.506	34.0
	3	1.660	0.445	27.0
T4	1	1.040	0.413	13.0
	2	1.055	0.468	16.5
	3	1.060	0.389	16.2
7	1	1.095	0.599	22.0
	2	1.085	0.534	20.0
	3	1.190	0.444	15.3

Velocidad de cabezal: 2 mm/min.

9.5.- EXTRACCION DE TORNILLO DEL CANTO DEL TABLERO 2a. ETAPA.  
Consultar apéndice A5.

Tablero #	Probeta #	espesor (cm.)	densidad (g/cm <sup>3</sup> )	carga máxima (Kg)
29	1	1.490	0.805	45.8
	2	1.595	0.867	36.0
	3	1.590	0.875	26.0
19	1	1.295	0.756	25.3
	2	1.255	0.675	23.8
	3	1.145	0.665	24.0
46	1	1.850	0.730	27.0
	2	1.965	0.709	26.8
	3	1.735	0.687	22.0
37	1	1.665	0.649	29.0
	2	1.690	0.579	18.8
	3	1.695	0.724	32.0
4	1	1.065	0.643	12.0
	2	1.095	0.625	11.0
	3	1.075	0.615	17.0
30	1	1.720	0.620	35.0
	2	1.745	0.538	17.0
	3	1.755	0.558	23.2
22	1	1.705	0.530	18.4
	2	1.695	0.532	19.5
	3	1.665	0.452	12.2
T4	1	1.055	0.393	8.8
	2	1.075	0.422	9.3
	3	1.075	0.414	9.0
7	1	1.585	0.415	7.9
	2	1.635	0.349	6.3
	3	1.685	0.362	6.3

9.5.- EXTRACCION DE TORNILLO DEL CANTO DEL TABLERO.  
2a. ETAPA

Agujero guía: Broca 7/64 pulg. para tableros de 1/2"

Tornillo # 8, 4.14 mm cabeza plana

Agujero guía: broca 9/64 pulg. para tableros de 3/4"

Tornillo # 10, 4.81 mm cabeza plana

Velocidad del cabezal: 5 mm/min.

9.6.- EXTRACCION DIRECTA DE TORNILLO . 2a. ETAPA  
Consultar apéndice A5.

Tablero	Probeta	espesor	densidad	carga máxima
#	#	(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Kg)
29	1	1.490	0.805	58.5
	2	1.595	0.867	47.0
	3	1.590	0.875	45.5
19	1	1.295	0.756	47.0
	2	1.255	0.675	40.0
	3	1.145	0.665	35.0
46	1	1.850	0.730	36.5
	2	1.965	0.709	27.0
	3	1.735	0.687	27.5
37	1	1.665	0.649	32.5
	2	1.690	0.579	35.1
	3	1.695	0.724	39.0
4	1	1.065	0.643	27.5
	2	1.095	0.625	21.5
	3	1.075	0.615	31.0
30	1	1.720	0.620	30.0
	2	1.745	0.538	21.0
	3	1.755	0.558	30.5
22	1	1.705	0.530	33.0
	2	1.695	0.532	20.0
	3	1.665	0.452	20.0
T4	1	1.055	0.393	10.0
	2	1.075	0.422	15.0
	3	1.075	0.414	12.0
7	1	1.585	0.415	20.0
	2	1.635	0.349	7.0
	3	1.685	0.362	15.0

Agujero guía: Broca 9/64 pulg., 4.8 mm, cabeza plana -  
tornillo # 10. velocidad de cabezal: 2 mm/min.

9.7.- TENSION PARALELA A LA SUPERFICIE. 2a. ETAPA  
Consultar apéndice A6.

Tablero	Probeta	espesor	densidad	tensión
#	#	(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )
29	1	1.330	0.680	32.90
	2	1.440	0.735	38.00
	3	1.495	0.832	45.76
	4	1.610	0.834	46.94
19	1	1.220	0.654	36.33
	2	1.250	0.751	14.12
	3	1.275	0.777	16.84
	4	1.310	0.672	15.47
46	1	1.815	0.592	23.63
	2	1.860	0.638	29.37
	3	1.930	0.616	24.92
	4	1.960	0.749	29.26
37	1	1.635	0.563	17.38
	2	1.650	0.604	17.09
	3	1.695	0.581	25.25
	4	1.705	0.688	31.46
4	1	1.075	0.467	12.01
	2	1.060	0.454	12.44
	3	1.100	0.650	19.67
	4	1.110	0.660	30.67
30	1	1.710	0.472	13.92
	2	1.650	0.471	16.90
	3	1.695	0.587	19.98
	4	1.735	0.578	20.42
22	1	1.655	0.436	9.86
	2	1.710	0.458	16.46
	3	1.660	0.463	19.07
	4	1.685	0.469	19.68

## 9.7.- TENSION PARALELA A LA SUPERFICIE. (Continuación)

Tablero	Probeta	espesor	densidad	tensión
#	#	(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )
T4	1	1.050	0.408	11.16
	2	1.035	0.438	10.91
	3	1.025	0.421	11.15
	4	1.085	0.437	12.25
7	1	1.565	0.398	10.48
	2	1.560	0.348	5.22
	3	1.635	0.354	5.34
	4	1.535	0.379	6.90

Velocidad de cabezal: 5 mm/min.

9.8.- MODULO DE RUPTURA. 2a. ETAPA.  
Consultar apéndice A7.

Tablero	Probeta	espesor	densidad	Modulo de ruptura
#	#	(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )
29	1	1.495	0.705	169.27
	2	1.400	0.897	243.82
	3	1.530	0.898	220.81
	4	1.590	0.802	221.45
19	1	1.295	0.751	189.20
	2	1.240	0.720	204.75
	3	1.250	0.721	169.77
	4	1.185	0.717	178.48
46	1	1.860	0.626	112.04
	2	1.950	0.725	145.333
	3	1.870	0.733	141.10
	4	1.885	0.704	139.06
37	1	1.660	0.569	153.53
	2	1.670	0.700	152.15
	3	1.685	0.674	160.91
	4	1.705	0.654	180.59
4	1	1.080	0.691	174.76
	2	1.065	0.625	151.39
	3	1.065	0.687	203.59
	4	1.070	0.607	143.94
30	1	1.725	0.493	96.61
	2	1.685	0.617	166.83
	3	1.740	0.529	116.03
	4	1.745	0.573	139.46
22	1	1.655	0.453	82.84
	2	1.675	0.519	113.21
	3	1.670	0.521	104.05
	4	1.685	0.483	113.79

## 9.8.- MODULO DE RUPTURA (continuación)

Tablero	Probeta	espesor	densidad	Módulo de ruptura
#	#	(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )
T4	1	1.065	0.415	71.71
	2	1.055	0.461	109.58
	3	1.075	0.428	98.20
	4	1.060	0.416	98.41
7	1	1.670	0.355	37.50
	2	1.580	0.416	59.92
	3	1.655	0.372	38.91
	4	1.665	0.337	28.47

Velocidad de cabezal: 10 mm/min.

9.9.- ABSORCION DE AGUA (a 24 hrs de inmersión) 2a. ETAPA  
Consultar apéndice A8.

Tablero	W1	W2	densidad	%A
#	g	g	(g/cm <sup>3</sup> )	
29	905.6	1098.3	0.888	21.27
19	682.1	802.8	0.793	17.69
46	865.4	1163.5	0.722	34.44
37	738.5	1198.0	0.649	62.22
4	487.6	877.0	0.686	79.86
30	696.9	1179.0	0.631	69.19
22	511.1	1004.1	0.474	96.45
T4	283.1	605.5	0.418	113.80
7	426.4	1013.5	0.399	137.68

Donde:

W1: Peso antes de la prueba de absorción de agua.

W2: Peso después de la prueba de absorcion de agua.

%A: Porciento de absorción de agua.

9.10.- HINCHAMIENTO DEL ESPESOR. (a 24 hrs de inmversión)  
 2a. ETAPA  
 Consultar apéndice A8.

Tablero #	D1 (cm)	D2 (cm)	densidad (g/cm <sup>3</sup> )	%S
29	1.5240	1.6951	0.888	11.17
19	1.2580	1.3045	0.793	3.69
46	1.8770	1.9507	0.722	3.92
37	1.7147	1.9309	0.649	12.60
4	1.0795	1.3912	0.686	28.94
30	1.7213	2.0022	0.631	16.31
22	1.6690	1.7993	0.474	7.80
T4	1.0497	1.1396	0.418	8.56
7	1.6222	1.8531	0.399	14.23

Donde:

D1: espesor antes de la prueba de absorción de agua.

D2: espesor después de la prueba de absorción de agua.

%S: porciento de hinchamiento.

9.11.- CONTENIDO DE HUMEDAD. 2a. ETAPA  
Consultar apéndice A9.

Tablero	M1	M2	densidad	%H
#	(g)	(g)	(g/cm <sup>3</sup> )	
29	154.6	143.4	0.8673	7.81
19	93.9	86.4	0.6753	8.68
46	121.6	112.6	0.6872	7.99
37	104.1	96.6	0.5797	7.76
4	79.8	75.2	0.6439	6.11
30	102.8	95.6	0.5381	7.53
22	103.3	96.2	0.5322	7.38
T4	52.5	49.3	0.4221	6.49
7	72.9	68.6	0.4150	6.26

Donde:

M1: peso del tablero desarrollado.

M2: peso del tablero seco a la estufa.

%H: porcentaje de humedad.

9.12.- DENSIDAD RELATIVA. 2a. ETAPA.  
Consultar apéndice A9.

		Densidad Relativa (g/cm <sup>3</sup> )				
Tablero #		29	19	46	37	4
Probeta	T1	0.6803	0.6544	0.5626	0.5639	0.4677
	T2	0.7350	0.7510	0.6388	0.6040	0.4540
	T3	0.8320	0.7779	0.6163	0.5810	0.6507
	T4	0.8340	0.6720	0.7494	0.6880	0.6600
MR	1	0.7055	0.7514	0.6265	0.5692	0.6914
	2	0.8970	0.7200	0.7258	0.7000	0.6250
	3	0.8980	0.7210	0.7332	0.6740	0.3720
	4	0.8027	0.7172	0.7047	0.6542	0.6076
ELC	1	0.8157	0.8424	0.6292	0.5770	0.6883
	2	0.7562	0.6148	0.6582	0.6670	0.5078
	3	0.8489	0.6978	0.5897	0.5992	0.5601
EC	1	0.8358	0.7805	0.6801	0.7040	0.6884
	2	0.8137	0.7158	0.7099	0.5637	0.5748
	3	0.8642	0.7880	0.6966	0.6940	0.6066
ECC	1	0.8458	0.8178	0.6866	0.6336	0.6868
	2	0.7222	0.6901	0.7063	0.6486	0.5949
	3	0.8814	0.7425	0.6365	0.6810	0.5307
ET	1	0.8051	0.7567	0.7305	0.6498	0.6439
	2	0.8673	0.6753	0.7095	0.5797	0.6255
	3	0.8754	0.6656	0.6872	0.7240	0.6158
B	1	0.7528	0.6819	0.6185	0.5647	0.5152
	2	0.7654	0.7306	0.6488	0.6059	0.6225
	3	0.7896	0.7702	0.6689	0.5530	0.6104
W		0.8880	0.7930	0.7220	0.6490	0.6860
PROMEDIO		0.8129	0.7303	0.6735	0.6303	0.6083

## 9.12.- DENSIDAD RELATIVA. (continuación)

		Densidad Relativa (g/cm <sup>3</sup> )			
Tablero #		30	22	T4	7
Probeta	T1	0.4721	0.4365	0.4083	0.3987
	T2	0.4610	0.4580	0.4380	0.3480
	T3	0.5870	0.4636	0.4215	0.3546
	T4	0.5780	0.4690	0.4370	0.3790
MR	MR 1	0.4933	0.4532	0.4150	0.3555
	MR 2	0.6170	0.5190	0.4610	0.4160
	MR 3	0.5290	0.5210	0.4280	0.4160
	MR 4	0.5738	0.4830	0.4160	0.3374
ELC	ELC 1	0.4498	0.4472	0.4307	0.3345
	ELC 2	0.5669	0.5083	0.4316	0.3385
	ELC 3	0.5418	0.4356	0.4023	0.2927
EC	EC 1	0.5672	0.4426	0.4560	0.3839
	EC 2	0.5445	0.4961	0.4793	0.3579
	EC 3	0.6099	0.4787	0.3851	0.3756
ECC	ECC 1	0.6066	0.5209	0.4136	0.5992
	ECC 2	0.5989	0.5065	0.4683	0.5345
	ECC 3	0.5742	0.4455	0.3893	0.4444
ET	ET 1	0.6201	0.5301	0.3934	0.4150
	ET 2	0.5381	0.5322	0.4220	0.3496
	ET 3	0.5583	0.4525	0.4145	0.3625
B	B 1	0.5483	0.4811	0.4421	0.3878
	B 2	0.5364	0.4354	0.4264	0.3532
	B 3	0.5805	0.4514	0.4399	0.3303
W		0.6310	0.4740	0.4180	0.3990
PROMEDIO		0.5576	0.4767	0.4265	0.3841

## 9.12.- DENSIDAD RELATIVA. (continuación).

Donde:

$T_i$  : Tensión paralela a la superficie

$MR_i$ : Modulo de ruptura

ELC: Extracción lateral de clavo

$EC_i$ : Extracción directa de clavo

$ECC_i$ : Extracción de cabeza de clavo  
a través del tablero

$ET_i$ : Extracción directa de tornillo

$B_i$ : Tensión perpendicular a la superficie

W: Absorción de agua e hinchamiento del  
espesor

9.13.- Tabla de resultados de los materiales desarrollados para la segunda etapa de pruebas.

A continuación se enlista la totalidad de resultados promedio de las pruebas físico-mecánicas seleccionadas indicando el valor máximo y mínimo, dependiendo del proceso a que se somete el material.

- A.- Resistencia a la tensión perpendicular a la superficie
- B.- Extracción lateral de clavo
- C.- Extracción directa de clavo
- D.- Extracción de cabeza de clavo a través del tablero
- E.- Extracción directa de tornillo
- F.- Extracción de tornillo del canto del tablero
- G.- Resistencia a la tensión paralela, a la superficie
- H.- Módulo de ruptura,
- I.- Absorción de agua
- J.- Porcentaje de hinchamiento
- K.- Contenido de humedad

Tablero	EXTRACCION							Tensión paralela a la superficie Kg/cm <sup>2</sup>	Tensión perpendicular a la superficie Kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de ruptura Kg/cm <sup>2</sup>	Hinchamiento %	Absorción %	Humedad %	Resina %
	Lateral de clavo			Directa de clavo Kg	De cabeza de clavo a través del tablero Kg	Directa de tornillo Kg	De tornillo del canto del tablero Kg							
	Distancia al borde del tablero													
	1/4" Kg	1/2" Kg	3/4" Kg											
26	<u>47.566</u>	<u>96.133</u>	<u>126.50</u>	5.533	<u>76.66</u>	<u>50.3</u>	<u>35.9</u>	<u>40.9</u>	1.355	<u>213.8</u>	11.17	21.27	7.81	20.00
19	33.133	73.600	84.60	8.100	63.06	40.6	24.3	20.6	<u>1.666</u>	185.5	<u>3.69</u>	<u>17.69</u>	<u>8.68</u>	24.80
46	40.933	<u>74.000</u>	67.50	<u>9.766</u>	58.43	30.3	25.6	26.7	0.681	134.3	3.92	34.44	7.99	27.00
37	<u>50.266</u>	55.333	<u>91.80</u>	5.333	41.33	35.5	26.6	22.7	0.768	161.7	12.60	62.22	7.76	20.20
4	23.200	34.933	53.60	4.900	32.50	26.6	13.3	18.7	0.878	168.4	<u>28.94</u>	79.86	<u>6.11</u>	13.18
30	33.566	52.833	57.90	7.666	41.60	27.1	25.0	17.8	0.574	128.9	16.31	69.19	7.53	18.00
22	19.733	30.833	42.50	3.333	36.00	24.3	16.3	16.2	0.677	103.4	7.80	96.45	7.38	25.70
T4	<u>9.200</u>	24.000	27.10	1.933	<u>15.23</u>	<u>12.3</u>	9.0	11.3	0.387	94.4	8.56	113.80	6.49	29.50
7	12.466	<u>20.266</u>	<u>13.40</u>	<u>1.000</u>	19.10	14.0	<u>6.8</u>	<u>6.9</u>	<u>0.199</u>	<u>40.45</u>	14.23	<u>137.68</u>	6.26	13.33

— Valor mínimo

== Valor máximo

RESULTADOS DE LA SEGUNDA  
ETAPA DE PRUEBAS

9.14.- Conclusiones de los resultados de la segunda etapa de pruebas.

Considerando la tabulación general de resultados por proceso y composición se desarrollan las siguientes conclusiones:

Resistencia a la tensión perpendicular a la superficie.-

La descripción de la prueba esta en el apéndice A-1

De acuerdo a los valores obtenidos se determina que el incremento de la propiedad es una función del porcentaje de resina y densidad relativa del tablero siendo una variable de gran importancia la temperatura de proceso en función del porcentaje de resina utilizado, teniendo se un valor máximo de  $1.666 \text{ Kg/cm}^2$  y un mínimo de  $0.199 \text{ Kg/cm}^2$  dependiendo del proceso.

Extracción lateral de clavo.-

La descripción de la prueba esta en el apéndice A-2

La propiedad definida para las diferentes distancias al borde del tablero son una función de la densidad del tablero estrictamente.

Se puede observar un resultado aparentemente -- anormal en el tablero codificado con el número 7, en base a que a una mayor distancia al borde del tablero se incrementa la resistencia presentada por el material al desgajamiento producido por el clavo.

Lo anterior no se cumple en la relación de aumentar la distancia al borde del tablero de 1/2 pulgada a 3/4 de pulgada, pero analizando las propiedades inherentes al tablero se tiene la densidad de  $0.525 \text{ g/cm}^3$  para el tablero en el cual se realiza la prueba a 1/2 pulgada del borde y densidad de  $0.321 \text{ g/cm}^3$  para el tablero en el que se realiza la prueba a 3/4 de pulgada del borde del tablero.

Lo anterior se puede observar también en el comportamiento de la propiedad de tablero número 46.

	Distancia al borde del tablero (pulg.)					
	1/4		1/2		3/4	
	espesor		del		tablero (pulg.)	
Valor máximo (Kgs.)	1/2 47.56	3/4 50.26	1/2 96.13	3/4 74.00	1/2 126.5	3/4 91.8
Valor mínimo (Kgs.)	9.20	12.46	24.00	20.26	27.1	13.4

Extracción directa de clavo.-

La descripción de la prueba esta en el apéndice A-3.

La propiedad es una función de la densidad del tablero, el contenido de resina presenta una contribución determinante teniendose como tiempo total de prensado óptimo para la propiedad máxima y un porcentaje de resina de 27% un total de 7 mins.

Los valores máximos y mínimos son los siguientes:

Valor máximo: 9.76 Kgs.

Valor mínimo: 1.00 Kgs.

Extracción de cabeza de clavo a través del tablero.-

La descripción de la prueba esta en el apéndice A-4

La propiedad esta relacionada con la densidad relativa del tablero y con el espesor del mismo, lo cual nos incrementará la carga necesaria para lograr la extracción de la cabeza del clavo a través del tablero.

Como se puede observar de los resultados máximos:

espesor (pulg.)	%resina	propiedad promedio (Kgs.)	densidad promedio (g/cm <sup>3</sup> )
1/2	20.0	76.66	0.816
3/4	27.0	58.43	0.676

Es determinante la densidad relativa desarrollada por el tablero siendo un factor de interes en economía del proceso determinar el porciento de resina mínimo necesario para lograr el valor deseado de esta propiedad.

Valores mínimos:

espesor (pulg.)	% resina	propiedad promedio (Kgs.)	densidad promedio (g/cm <sup>3</sup> )
1/2	29.5	15.25	0.423
3/4	13.3	19.10	0.525

#### Extracción directa de tornillo.-

La descripción de la prueba esta en el apéndice-A-5

Esta definida por una relación de propiedad-densidad sin tener una influencia preponderante el incremento de agente aglutinante (resina uréa-formaldehído), esto conduce a reflexionar sobre una mayor propiedad si se dispone de altas presiones de prensado para lograr mayores densidades ó determinar un corte de partícula para facilitar un mayor aglutinamiento al reducir espacio interpartículas.

El valor máximo obtenido de la depuración del diseño experimental es de 50.3 Kgs. y el mínimo de 12.3 Kgs.

Extracción de tornillo del canto del tablero.-

La descripción de la prueba esta en el apéndice-A-5

La propiedad esta definida claramente como una función de la densidad obtenida por el proceso de elaboración del tablero por este proceso.

El valor máximo y mínimo de la propiedad es hasta cierto grado independiente del % de resina.

Valor máximo ..... 35.9 Kgs.

Valor mínimo ..... 6.8 Kgs.

Resistencia a la tensión paralela a la superficie.-

La descripción de la prueba esta en el apéndice A-6.

El valor máximo obtenido,  $40.9 \text{ Kg/cm}^2$  corresponde a un tablero cuya densidad es de  $0.770 \text{ g/cm}^3$ , la propiedad disminuye en función del decaimiento de la densidad estrictamente hasta alcanzar un nivel mínimo para las condiciones de proceso establecidas de  $6.9 \text{ Kg/cm}^2$  para una

densidad de  $0.369 \text{ g/cm}^3$ .

Módulo de ruptura.-

La descripción de la prueba esta en el apéndice A-7

Esta propiedad esta determinada esencialmente - por la densidad relativa del tablero.

Una contribución del incremento del porciento-- de resina a la propiedad, es que a un alto porciento de resina el tablero se vuelve más fragil a la flexión como se observa de los siguientes datos:

Tablero #	espesor (pulg.)	MOR $\text{Kg/cm}^2$	densidad $\text{g/cm}^3$	%resina
46	3/4	134.3	0.69	27.0
37	3/4	161.7	0.64	20.2

De lo cual se determina que la contribución de - la masa de resina a la densidad relativa del tablero no - es substancial.

El valor máximo para una densidad relativa de --  $0.825 \text{ g/cm}^3$  es de  $213.8 \text{ Kg/cm}^2$ . El valor mínimo se tiene- para una densidad de  $0.370 \text{ g/cm}^3$  y es de  $40.45 \text{ Kg/cm}^2$ .

Absorción de agua y porciento de hinchamiento.-

La descripción de la prueba esta en el apéndice-

A-8

Es de desear que el material desarrollado presente una mínima deformación producida por la absorción de -- agua.

En base a los resultados obtenidos se tiene que-- las características deseables para minimizar el efecto del agua en el tablero son:

A).- Alta densidad, con esto se tiene un material más compacto.

B).- Altos porcentos de resina lo cual implica - un mayor contenido de cera la cual reduce la tendencia del tablero a absorber agua líquida.

Estas características se pueden mejorar con un -- tratamiento posterior de recubrimiento en la superficie -- expuesta.

	% de hinchamiento	% de absorción de agua en 24 hrs.
Valor máximo	28.94	137.6
Valor mínimo	3.92	17.6

Porcentaje de humedad.-

La descripción de la prueba esta en el apéndice A-9.

El porcentaje de humedad en el material terminado se incrementa al tener un mayor porcentaje de resina, en base a los parámetros del proceso se tiene un aumento del 35% con respecto al tablero con el menor porcentaje de resina.

El valor máximo es de 8.68% para 24.8% de resina y el valor mínimo es de 6.11% para el tablero con 13.18% de resina.

10.- Características físico-mecánicas de tableros aglomerados elaborados con madera como materia prima.

Los tableros aglomerados se clasifican en base -- a las características del material usado en el proceso de -- elaboración lo cual determina dos clases:

1.- Material prima en forma de partícula, las cules se producen con alguna fuente de corte.

2.- Materia prima de tipo fibroso, la cual es producida por acción de molienda ó frotación de un molino de-  
atricción.

TABLERO AISLANTE (a partir de fibra) [8]

Densidad relativa: 0.230 a 0.400 g/cm<sup>3</sup>

Módulo de ruptura: 20 Kg/cm<sup>3</sup>

Absorción de agua en dos horas a 20°C: 30% máximo

Hinchamiento en dos horas: 8% máximo

TABLERO DURO (a partir de fibra) [8]

S2S proceso semihúmedo.

Densidad relativa: 0.800 a 1.200 g/cm<sup>3</sup>

Módulo de ruptura: 215 a 400 Kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a la tensión perpendicular

a la superficie: 5 a 8 Kg/cm<sup>2</sup>

Especímen	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Módulo de ruptura Kg/cm <sup>2</sup>	Tensión paralela Kg/cm <sup>2</sup>	% Absorción	% Hinchamiento
P-27	0,9596	97,07	53,36	42,03	33,74
P-12	1,0554	174,18	97,88	51,82	27,00
P-21	0,9525	117,70	188,90	57,13	30,46
P-13	1,0282	148,06	72,10	19,63	18,42
P-4	1,0233	157,37	100,32	54,70	31,79

Características físico mecánicas de tablero duro S1S  
a partir de fibra por el proceso húmedo.

especie	localidad de recolección	% humedad	densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	módulo de ruptura Kg/cm <sup>2</sup>	tensión perpendicular a la fibra Kg/cm <sup>2</sup>	extracción de clavo	
						perpendicular a la fibra Kg	paralela a la fibra Kg
Pino Ayacahuite	Acajeto Ver.	1 6 6,0	1,0 01	3 7 7,4 4	19,67	4 3,54	2 3,44
		1 2,0	0,4 52	6 8 3,2 1	25,53	4 0,31	2 8,9 5
Pino Chino	Sn Rafael Edo.de Mexico	1 4 1,0	1,1 1 1	2 8 7,0 0.	2 4,7 6	6 0,2 3	3 0,2 8
		1 2,0	0,5 4 7	8 7 1,5 1	2 7,7 3	3 8,9 5	2 5,7 2
Pino Colorado	Chignahuapan Puebla	1 3 9,0	1,1 3 2	5 0 8,6 2	3 0,3 9	6 2,4 2	4 3,8 2
		1 2,0	0,5 8 6	1 0 0 2,5 8	2 9,9 8	4 0,8 7	3 1,7 1
Pino Real	Sn Pedro Martir Baja California	1 5 7,0	1,0 7 3	4 1 8,8 4	2 4,7 8	4 5,6 9	2 5,4 8
		1 2,0	0,4 9 0	8 1 8,6 5	2 9,8 6	3 8,6 6	2 8,3 4
Ocote Blanco	Ajusco D.F.	1 6 0,0	1,0 5 0	4 2 2,8 9	2 9,4 3	5 2,0 3	2 8,3 7
		1 2,0	0,5 1 2	8 2 0,5 1	2 7,5 1	3 8,6 8	2 8,7 8

Características físico mecánicas de la madera de cinco especies mexicanas

Absorción de agua en 24 horas: 20% máximo

TABLERO DE PARTICULA [8]

Densidad relativa: 0.600 a 0.800 g/cm<sup>3</sup>

Módulo de ruptura: 200 Kg/cm<sup>2</sup>

Hinchamiento por absorción de agua en un  
tiempo de dos horas en agua a 20 °C 6% máximo

Cara 50 Kg mínimo

Retención de tornillo

Canto 115 Kg mínimo

TABLERO DURO (a partir de fibra)

SIS

proceso húmedo

Estas pruebas se realizan en el Instituto de  
Investigación en Materiales a muestras remitidas por:  
Laboratorios Fibracel, Ciudad Valles S.L.P.

GRISOTEX S.A. Durango, Dgo.

Con las características físico-mecánicas obtenidas para otros materiales y con la finalidad de establecer dentro de un marco de referencia las propiedades desarrolladas por los tableros aglomerados a partir -- de partículas de bagazo de caña se desarrolla una tabla comparativa compuesta con las propiedades físico-mecá --

Propiedad	Tablero de partícula		Tablero de fibra			Madera
	de bagazo	de madera	aislante	duro S2S	S1S	
	proceso seco	proceso seco		proceso semihúmedo	proceso húmedo	
módulo de ruptura Kg/cm <sup>2</sup>	134-213	200	20	215-400	97-174	683-1002
densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	0.6-0.8	0.60-0.80	0.23-0.40	0.80-1.20	0.959-1.050	0.45-0.58
retención de tornillo Kg	cara canto 2.6 min-13 min 5.0 max-35 max	cara canto 50 min-115 min				
extracción de clavo Kg	4.90-9.76					40.3-40.8 perp fibra 28.9-31.7 par l fibra
tensión paralela a la cara Kg/cm <sup>2</sup>	187-409				189-978	
tensión perpendicular a la cara Kg/cm <sup>2</sup>	0.87-1.66					25.5-29.9
absorción de agua (24 hrs)	17 %/min			2.0 %/min		

Tabla A

nicas de los siguientes materiales:

I.- Tablero de partícula.

a).- Partícula de bagazo de caña (proceso seco)

b).- Partícula de madera (proceso seco)

II.- Tableros de fibra

a).- Tablero aislante

b).- Tablero duro S2S (proceso semihúmedo)

c).- Tablero duro S1S (proceso húmedo)

III.- Madera.

De los datos de la tabla 3 se determina que las propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados se modifican substancialmente en base al proceso bajo el cual se desarrollan los materiales.

Para una mejor ubicación de las propiedades de los materiales tabulados se registra el rango de densidad aparente en la cual se obtienen los datos reportados.

El tablero de bagazo de caña conceptuado como tablero de partícula y bajo el mismo proceso ofrece dentro del rango de densidad aparente resultados competitivos en el módulo de ruptura desarrollado por el tablero-

elaborado con particulas de madera.

La diferencia existente en los resultados de retención de tornillo en cara y canto del tablero se favorece en tableros desarrollados en base a particulas de madera ya que estas se pueden obtener cortandose selectivamente perpendicular ó paralelamente a las fibras del árbol.

No disponiendo de datos de retención de tornillo en madera se toma como analogía la prueba de extracción -- de clavo en madera con los siguientes resultados:

Extracción perpendicular a la fibra .....	40.3 a 40.8 Kg
Extracción paralela a la fibra ....	..... 28.9 a 31.7 Kg

De estos datos se observa que para propiedades de retención de clavo y tornillo los valores se modifican dependiendo de las características de corte de las partículas, el cual es caotico en el corte de las particulas en los tableros aglomerados de bagazo de caña desarrollados en el Instituto de Investigación en Materiales.

11.0.- CORRELACION DE VARIABLES DE PROCESO  
POR MEDIO DE UN PROGRAMA DE COMPUTA  
CION DE BIBLIOTECA.

Con el objeto de obtener un modelo matemático sobre el comportamiento del material en función de sus variables de proceso y formulación se usa la correlación estadística por computadora haciendo las siguientes consideraciones. [7]

La correlación de variables nos conducen al terreno de la estadística y no siendo el propósito de la presente tesis hacer un desarrollo amplio del procedimiento estadístico se hace uso de la ventaja que se tiene al disponer de análisis estadísticos pre-establecidos como el del sistema:

BASIS: Burroughs Advanced Statistical Inquiry System.

Estos sistemas estadísticos de catálogo tienen su propia forma de lenguaje de computación, debido a lo cual el usuario puede realizar varios análisis estadísticos con los datos suministrados, los datos se pueden suministrar por medio de tarjetas, cinta magnética o disco.

El programa estadístico seleccionado se denomina MULTR (multiple linear regression), regresión lineal múltiple.

Este programa desarrolla regresiones lineales -- múltiples para obtener una ecuación de correlación de la forma:

$$Y = A_0 + A_1X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_nX_n$$

para un campo de datos disponible y evalúa la calidad del ajuste obtenido.

#### 11.1.- VARIABLES SELECCIONADAS PARA OBTENER ANALISIS PARCIALES.

Se seleccionan las variables que presentan una gama amplia de valores en base a los cuales se tenga una mejor estimación del comportamiento e influencia de las variables que rigen las correlaciones determinadas por el programa de computación, tratándose de evitar una confusión entre correlación y causación.

Las variables que se seleccionaron para la inclusión en el programa de computación son:

- a).- Espesor
- B).- Densidad

c).- Propiedad mecánica

### 11.2.- CORRELACION LINEAL.

A continuación se presentan los resultados de los datos estadísticos que proporciona el programa de biblioteca seleccionado.

El desglosamiento de todos y cada uno de los estadísticos suministrados no es del interés primordial de la presente tesis, debido a lo cual solo se hará hincapié en los aspectos necesarios para clarificar y explicar las ecuaciones obtenidas para cada una de las correlaciones determinadas.

El anterior análisis estadístico ofrece una serie de modelos matemáticos de los que se seleccionará los de mayor resolución por coeficiente de correlación cercano a la unidad.

#### MODELOS MATEMATICOS.-

Tensión perpendicular a la superficie (RTPS).

$$\text{RTPS} = -301.18 - 2030.76 (e) + 11552.20 (\text{DEN})$$

Coefficiente de correlación: 0.8534

Donde:

e : espesor del espécimen en cms.

DEN: densidad relativa del espécimen ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

RTPS: Kg

Extracción lateral de clavo a  $3/4$ " del borde del tablero

$$\text{ELC}_{3/4} = - 1197.06 + 41282.78 (e) + 224687.59 (\text{DEN})$$

Coefficiente de correlación: 0.9222

ELC: Kg

Extracción lateral de clavo a  $1/2$ " del borde del tablero

$$\text{ELC}_{1/2} = - 78860.46 + 18644.01 (e) + 167837.73 (\text{DEN})$$

Coefficiente de correlación: 0.8961.

ELC: Kg

Extracción lateral de clavo a  $1/4$ " del borde del tablero

$$\text{ELC}_{1/4} = - 46245.25 + 21354.69 (e) + 73233.93 (\text{DEN})$$

Coefficiente de correlación: 0.7947

Donde:

e: espesor en cms.

DEN: densidad relativa del tablero ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

ELC: Kg

Extracción directa de clavo (EC)

$$\text{EC} = -8060.36 + 3880.23 (e) + 11963.75 (\text{DEN})$$

Coefficiente de correlación: 0.7231

Donde:

e: espesor del tablero en cms.

DEN; densidad relativa del tablero en (g/cm<sup>3</sup>)

EC: Kg

Extracción de cabeza de clavo a través del tablero (ECC)

ECC= 56106.81 + 16361.94 (e) + 120513.92 (DEN)

Coefficiente de correlación: 0.9182

Donde:

e: espesor del tablero en cms.

DEN: densidad relativa del tablero en (g/cm<sup>3</sup>)

ECC; Kg

Extracción de tornillo del canto del tablero (ETC)

ETC = - 24369.38 + 8203.06 (e) + 53945.82 (DEN)

Coefficiente de correlación: 0.7933

Donde:

e: espesor del tablero en cms.

DEN: densidad relativa del tablero en (g/cm<sup>3</sup>)

ETC: Kg

Extracción directa de tornillo (ET)

ET= - 16652.27 + 725.09 (e) + 74388.33 (DEN)

Coefficiente de correlación: 0.8906

Donde:

e: espesor del tablero en cms.

DEN: densidad relativa del tablero en ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

ET: Kg

Tensión paralela a la superficie (T)

$$T = - 21152.89 + 4555.03 (e) + 61387.71 (DEN)$$

Coefficiente de correlación: 0.8328

Donde:

e: espesor del tablero en cms.

DEN: densidad relativa del tablero en ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

T:  $\text{g}/\text{cm}^2$

Módulo de rútpura (MOR)

$$\text{MOR} = - 10404.59 - 36151.05 (e) + 335784.16 (DEN)$$

Coefficiente de correlación: 0.9474

Donde:

e: espesor del tablero en cms.

DEN: densidad relativa del tablero en ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

MOR:  $\text{g}/\text{cm}^2$

Las ecuaciones de correlación obtenidas mues --  
 tran la gran influencia que ejerce la densidad del tabler  
 ro en la propiedad mecánica, esta por si misma sirve co-  
 mo un patrón para definir características físico-mecáni-

cas del material desarrollado.

La confiabilidad de la ecuación de correlación se mejora al incluir un segundo parámetro en relación directa con la densidad como lo es el espesor del tablero al realizar la correlación con estas dos variables se tiene un incremento en el factor de correlación.

Es de hacerse notar que al intentar extrapolar, - es decir predecir un valor de la propiedad mecánica correspondiente a un valor de las variables de proceso fuera de los establecidos en el diseño experimental, los límites de confianza y de predicción se vuelven progresivamente más anchos, esto es debido a que se considera que la regresión es lineal aún fuera de los valores en los cuales se estima la ecuación de regresión.

## 12.- CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO

El material constituido por los tableros aglomerados de bagazo de caña constituye un elemento estructural de una amplia gama de aplicaciones debido a la gran variedad de densidades en las cuales se puede desarrollar.

Como un nuevo material desarrollado ofrece una serie de propiedades las cuales son susceptibles de modificarse en forma substancial al optimizarse las variables de proceso más recomendables, obtenidas en base a la presente tesis.

Por los estudios realizados sobre el potencial de la fibra de caña se puede considerar como un proyecto viable de industrialización y ser competitivo en el mercado, sobre todo por las características competitivas de propiedades con relación a los tableros desarrollados con partículas de madera por el proceso seco.

Obviamente esta tesis puede representar un paso dentro del desarrollo de esta nueva tecnología aplicada-

a bagazo de caña.

Como estudio tecnológico esta sujeto a mejoras como resultado de nuevas investigaciones tanto de las variables de proceso como del acondicionamiento de equipos de procesamiento para modificar el acabado final -- y aplicaciones del mismo.

## 13.- APENDICES

Lista de pruebas:

<u>Apéndice</u>	<u>Prueba</u>
A 1	Resistencia a la tensión perpendicular a la superficie.
A 2	Extracción lateral de clavo
A 3	Extracción directa de clavo
A 4	Extracción de cabeza de clavo a través del tablero
A 5	Extracción de tornillo del canto del tablero
A 5	Extracción directa de tornillo
A 6	Resistencia a la tensión paralela a la superficie
A 7	Módulo de ruptura
A 8	Absorción de agua
A 8	Hinchamiento del espesor
A 9	Porcentaje de humedad
A 9	Densidad relativa

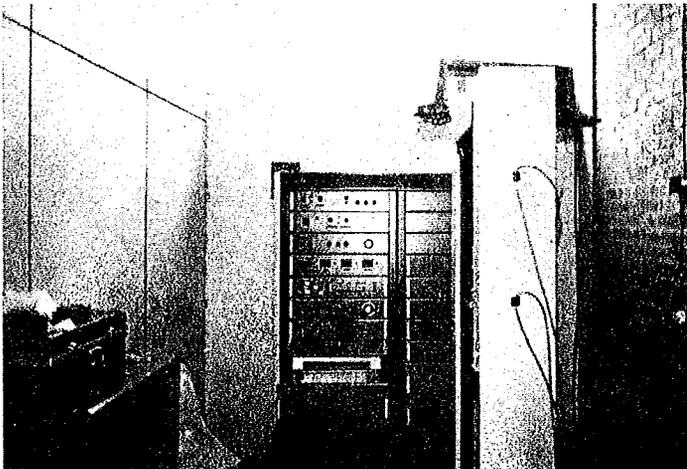
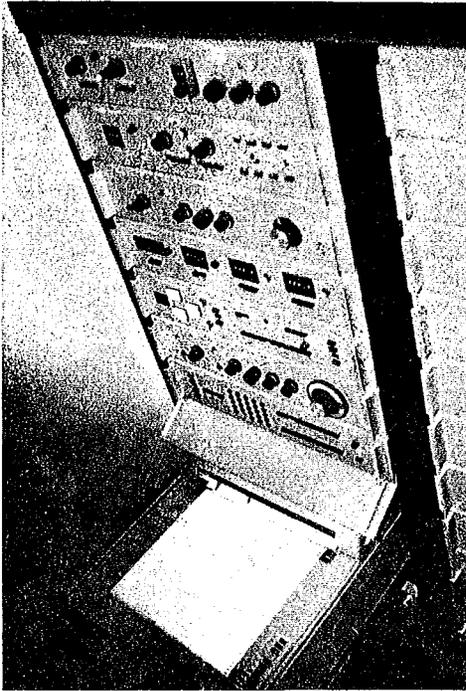


Figura 12

Máquina de pruebas físico mecánicas  
INSTRON modelo 1125.

A continuación se describen las normas D 1037- - 72a del A.S.T.M. en sus diversas secciones según el tipo de prueba a que se sometió el material, también se muestran los accesorios utilizados.

Las propiedades direccionales se pueden tomar en cuenta sólo si se tratara de un proceso continuo, no siendo así queda excluida la anterior consideración de tomar especímenes a lo largo y a lo ancho del tablero.

#### A.1.- RESISTENCIA A LA TENSION PERPENDICULAR A LA SUPERFICIE.

El procedimiento para determinar la propiedad será la misma que el proporcionado en la sección 28 a 33.

Excepto que la velocidad uniforme de separación del cabezal de la maquina de prueba no será menor de -- 0.125 ó mayor de 0.175 in (3.18 a 4.45mm)/min.

Seleccionar tres especímenes para prueba como los de la figura 11. Cortar los especímenes con una precisión que sea  $2 \pm 0.01$  in ( $50 \pm 0.2$  mm). Si hay una adhesión inadecuada de los bloques de metal de carga con el espécimen nos indicara menos de 95% de transferencia de fuerza en la fibra a la falla, repetir la prueba usando-

especímenes suplementarios obtenidos de la misma área general de los paneles de prueba como de los especímenes originales.

Cálculos y reporte.-

Calcular las unidades de tensión en la falla dividiendo la carga en la falla entre 4.

Reportar la resistencia a la tensión promedio de las tres pruebas de cada panel lo más próximo a 5psi (0.5 Kg/cm<sup>2</sup>).

La prueba a la resistencia a la tensión perpendicular a la superficie sera realizada en especímenes secas para determinar la cohesión de las fibras del tablero en la dirección perpendicular a el plano del tablero.

Esta prueba es incluida porque el uso en tableros de fibras y tableros de partícula o madera terciada u otros materiales son pegados al tablero, en donde la fuerza de cohesión del tablero es una propiedad importante.

Pruebas en condiciones húmedas seran realizadas si el material es usado en condiciones severas.

Especímenes de prueba.

El especímenes de prueba será de 2 in (50mm) cua

drados y el espesor será el de fabricación. Bloques de carga de acero o de aleaciones de aluminio de 2 in cuadradas y 1 in (25mm) de espesor serán unidos efectivamente con un adhesivo apropiado a las caras de 2 in cuadradas del espécimen como se muestra en la figura 13, la cual es detalle del espécimen y de las cargas fijas. Las dimensiones de la sección transversal sera medida a una precisión no menor de  $\pm 0.3\%$ . La distancia máxima al centro de la unión universal o cabezal autoalineable a la superficie pegada del espécimen será de 3 in (76 mm).

Cualquier adhesivo apropiado que proporcione un enlace adecuado puede ser usado para unir los especímenes del tablero a el bloque de carga. Resinas epoxicas son recomendables como un agente enlazante satisfactorio.

La presión necesaria para unir los bloques a el espécimen depende de la densidad del tablero y del adhesivo usado y no debe ser muy grande como para producir un daño apreciable al tablero. El enlace resultante sera al menos tan fuerte como la fuerza de cohesión del material perpendicular al plano del tablero.

Acople las secciones fijas de carga, tal como se muestra en la figura 13, sujetas a la cabeza de la máqui-

na de pruebas, con los bloques sujetos a el espécimen.

Tensionar el espécimen por separación de las cabezas de la máquina de prueba hasta que se provoque la falla la dirección de la carga deberá ser cercanamente perpendicular a las caras del tablero como sea posible, y el centro de carga deberá pasar por el centro del espécimen.

Velocidad de prueba.

Aplicar la carga continuamente durante la prueba a una velocidad uniforme de movimiento del cabezal movable de la máquina de pruebas de 0.08 in/in (cm/cm) de espesor por minuto.

Se entiende que la velocidad de la máquina de prueba variara para pequeñas diferencias en espesor de los tableros, pero no debe variar más de  $\pm 50\%$  de lo especificado anteriormente.

Datos de prueba y reporte.

Obtener cargas máximas a partir de las cuales -- calcular la tensión a la falla. Calcular los valores de resistencia en libras por pulgada cuadrada ( $\text{Kg}/\text{mm}^2$ ), para lo cual las medidas del espécimen serán usadas. Incluir-- la localización de la línea de falla en el reporte.

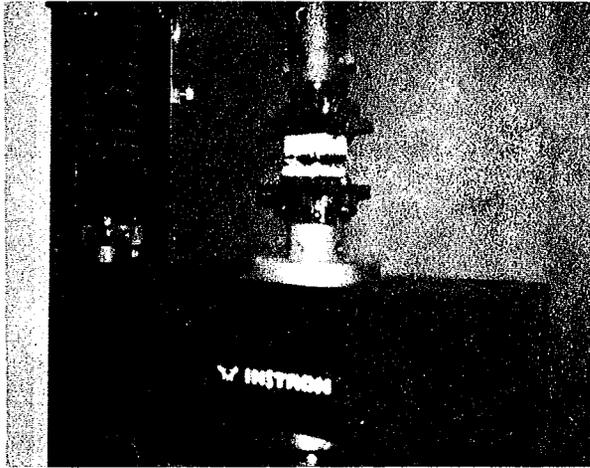


Figura 13  
Tension perpendicular a la superficie.

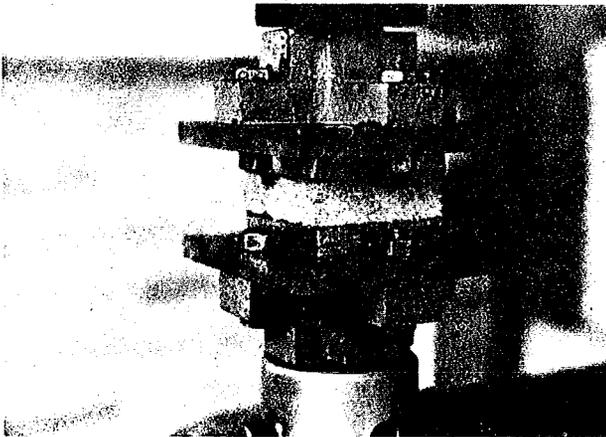
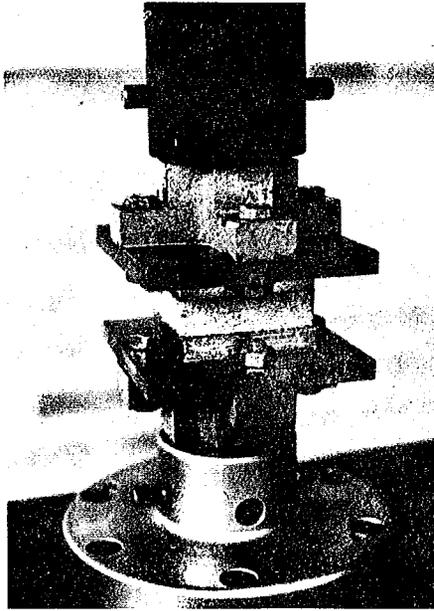


Figura 14  
Tension perpendicular a la superficie.

## A.2.- EXTRACCION LATERAL DE CLAVO.

La prueba de retención de clavo será realizada - para medir la resistencia de un clavo al movimiento lateral en un tablero. Se seleccionara una mitad de los especímenes y colocarlos de tal manera durante la prueba que el movimiento del clavo sea paralelo y la otra mitad de - tal forma que el movimiento del clavo sea perpendicular - a la dimensión mayor del tablero para evaluar propiedades direccionales. Cuando se desea información general se pue de usar un clavo estandar. Para aplicaciones especiales, - sin embargo, este procedimiento es aplicable a otros tamaños y tipos de sujetadores.

Si esta prueba es desarrollada en tableros duros en clavo puede flexionarse y salirse del estribo. Si esto sucede, la carga máxima sera solo la aparente y no la ver dadera resistencia del tablero y solamente indicara que - la resistencia es de alguna forma mayor que el valor aparente. Cuando esto suceda deberá ser reportado.;

Los valores obtenidos de esta prueba son depen-- dientes del espesor del especimen, sin embargo, no son -- directamente proporcionales al espesor. Por esta razón -- los valores obtenidos durante la prueba de diferentes ta-

bleros pueden ser comparados solamente si los espesores son iguales.

Cada espécimen será de 3 in (76 mm) de ancho y de longitud conveniente y deberá tener un clavo con diámetro de 0.113 in (2.80) mm ó lo más aproximado posible colocado en ángulo recto a la cara del tablero de tal forma que exista una longitud igual del clavo proyectada en cada cara el clavo será centrado a lo ancho y localizado a 1/4, 1/2 y 3/4 in (6, 12, y 18 mm) del borde. Las pruebas serán realizadas para las tres distancias al borde para cada material probado. El espesor -- de cada espécimen será medido a una precisión no menor de  $\pm 0.3\%$ .

Un clavo de hierro común cumple estos requisitos en ciertas circunstancias puede ser más deseable -- usar una espega acerada de una mayor dureza que el clavo. El tipo de clavo o espiga usada deberá ser descrita en el reporte.

La distancia al borde es la distancia del centro del clavo o de otro sujetador a el borde del tablero.

#### Metodo de carga.

Sujetar el espécimen del lado opuesto al clavo en posición paralela al movimiento de la máquina de prueba. Sujetadores tales como los aplicables para pruebas de tensión paralela al plano del tablero son apropiados. Sujetar el clavo con el estribo y conectarlo al cabezal de la máquina de pruebas. Un típico ensamble de prueba para medir la resistencia de un clavo en la dirección lateral es mostrado en la figura 15. El estribo y las conexiones son detalladas en la misma figura. Para otro tipo de sujetadores tales como grapas pueden ser necesarias algunas modificaciones en el estribo.

#### Velocidad de prueba.

Aplicar la carga al espécimen continuamente durante la prueba por separación del cabezal de la máquina de prueba a una velocidad uniforme de 0.25 in (6 mm)/min. La carga requerida para mover el clavo al borde del espécimen será la medida de la resistencia lateral.

La carga máxima y la naturaleza de la falla serán incluidas en el reporte.

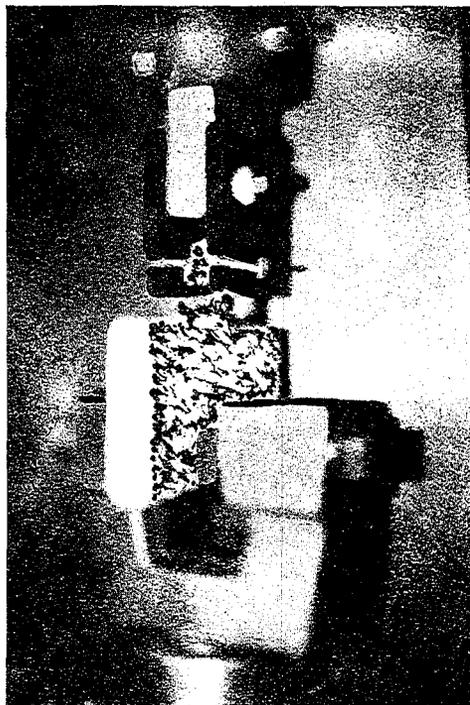
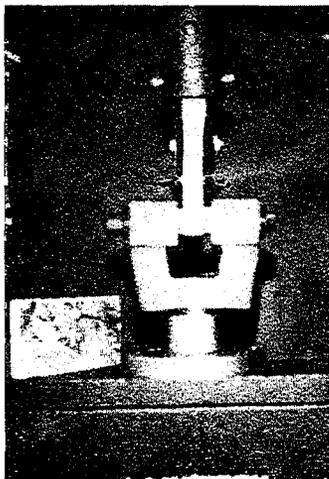
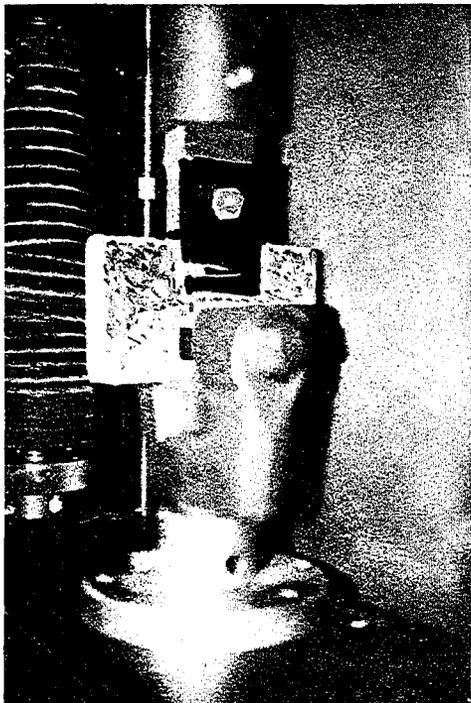


Figura 15 Extraccion lateral de clavo.

### A.3.- EXTRACCION DIRECTA DE CLAVO.

La prueba de resistencia de retención de clavo será realizada con clavos atravesados en el tablero de cara a cara para medir la resistencia a la extracción en un palano normal a la cara.

Cuando se desea una información general un clavo normal ó un equivalente debe ser usado. Para aplicaciones más específicas este procedimiento puede ser adaptado a otros tipos y tamaños de sujetadores.

Especímenes de prueba.

El espécimen de prueba será de tamaño convencional, al menos de 3 in (76 mm) de ancho y 6 in (152 mm) de largo. Clavos de 0.113 in (2.8 mm) de diámetro serán atravesados en el tablero en ángulo recto a la cara y al menos 1/2 in (12 mm) del cuerpo del clavo estará arriba de la superficie del material. El espesor de cada espécimen será medido a una precisión no menor de  $\pm 0.3\%$ .

Es necesario un clavo estandar para la prueba. En ciertos casos puede ser más deseable usar una espiga de acero de una dureza mayor que el clavo normal. Una cabeza u otro borde apropiado para ser enganchado al accesorio que aplica la carga, el clavo ó la espiga usado-

debe ser descrito en el reporte.

Donde el uso de un clavo ó sujetador requiere -- menos de 1/2 in de claro arriba de la superficie, entonces solamente se dejara la longitud suficiente para sujetar el accesorio de prueba.

Método de carga.

El sistema para la prueba de extracción de clavo es mostrado en la figura 16. Colocar el accesorio sujetador del espécimen al cabezal inferior de la máquina --- de prueba. Insertar el espécimen en el accesorio con las cabezas de los clavos hacia arriba como se muestra. En -- ganchar las cabezas de los clavos con el accesorio aplica-- dor de carga que esta provisto de una abertura para un -- fácil enganchamiento.

Este accesorio de carga será sujetado a la placa superior de la máquina de pruebas. La carga será aplica-- da por separación de los cabezales de la máquina de prueba. El accesorio completo es detallado en la figura 16.

velocidad de prueba.

La aplicación de la carga al espécimen deberá -- ser uniforme en el movimiento del cabezal a una velocidad

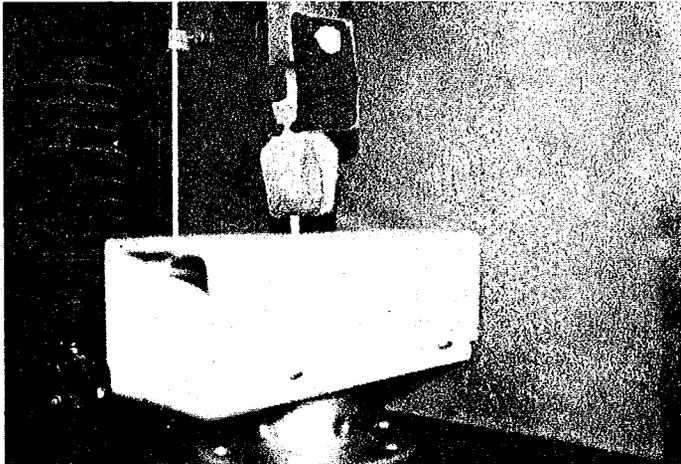
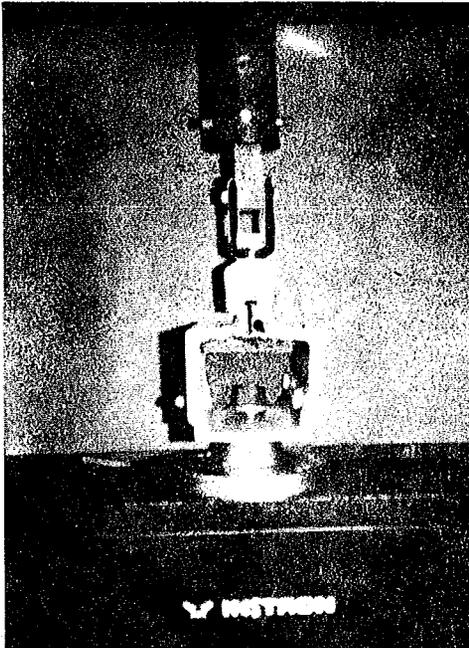


Figura 16  
Extracción directa de clavo .

de 0.06 in (1.5 mm)/min.

La carga máxima requerida para la extracción del clavo será la medida de la resistencia a la extracción directa del clavo y será incluida en el resorte.

#### A.4.- EXTRACCION DE CABEZA DE CLAVO A TRAVES DEL TABLERO.

La prueba de extracción de cabeza de clavo sera realizada para medir la resistencia de un tablero cons -- truido a retener la cabeza de un clavo o de otro sujeta - dor jalado a través del tablero. Esta prueba es para simular las condiciones encontradas con fuerza que tiende a - jalar el panel de una pared.

Especímen de prueba.

Será de tamaño convencional, al menos de 3 in -- (76 mm) de ancho por 6 in (152 mm) de largo. Clavos comu- nes de hierro de 0.113 in (2.80 mm) de diametro serán in- troducidos en el tablero con la cabeza a ras con la superficie del tablero y en ángulo recto a la cara. El espesor de cada especimen será medido a una percisión no menor de de  $\pm$  0.3%.

Método de carga.

Modificando el accesorio para la extracción de clavo directa usado como se muestra en la figura 17, -- reemplazando los ángulos superiores en el accesorio --- que sujeta al espécimen por el de 6 in (152 mm) de longitud y 2 1/4 in (57 mm) de canal. La abertura del canal deberá tener un diámetro de 3 in (76 mm) en el centro del canal. El borde de esta abertura proporciona -- el soporte al espécimen durante la prueba. Insertar el espécimen en el accesorio sujetador con la punta del -- clavo hacia arriba, sujetar la cabeza del clavo con sujetador apropiado.

Aplicar la carga por separación del cabezal de la máquina de prueba.

velocidad de prueba.

Aplicar la carga al espécimen durante la prueba a un movimiento uniforme del cabezal móvil de la máquina de prueba a una velocidad de 0.06 in (1.6 mm)/min.

La carga máxima requerida para jalar la cabeza del clavo ó de otro sujetador a través del tablero -

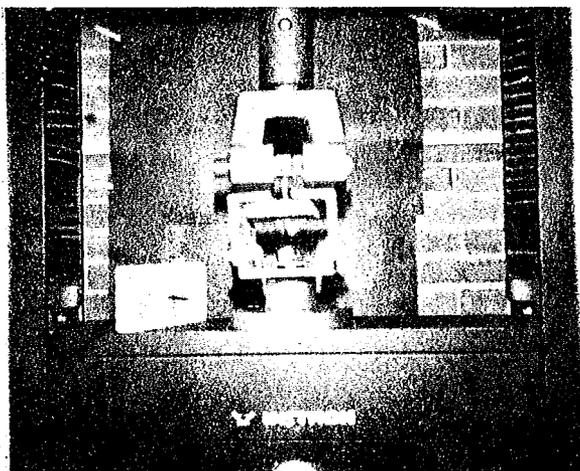


Figura 17  
Extracción de cabeza de clavo a  
través del tablero.

será la medida de la resistencia del material a la extracción de la cabeza y deberá ser incluido en el reporte.

A.5.- EXTRACCION DIRECTA DE TORNILLO.  
EXTRACCION DE TORNILLO DEL CANTO DEL TABLERO.

La prueba de retención de tornillo será realizada en tornillos introducidos en el tablero para medir --- la resistencia a la extracción en un plano normal a la -- superficie.

Por numerosas aplicaciones la resistencia a la-- extracción de tornillo en el canto del tablero se desea - conocer.

Cuando se desea una información general para comparar la resistencia a la extracción de tornillo en un tablero con otro material, se usa un tornillo para madera - No. 10, 1 in.

Para aplicaciones especiales, este procedimien - to es adaptable a otros tamaños y tipos de tornillos, ta - les como el tipo No. 10 tornillo para metal de 1 in.

Especímenes de prueba.

Extracción perpendicular a el plano del tablero.

El espécimen de prueba será de 3 in (76 mm) de -

ancho y 6 in (152 mm) de largo. El espesor será lo menos de 1 in (25 mm) a menos que otras consideraciones hagan deseable probar con el espesor de fabricación, esto es a causa de posibles pandeos locales del tablero en la extracción puedan afectar los resultados de prueba. Si es necesario pegar dos o más tableros hasta lograr el espesor mínimo de 1 in.

El tornillo No. 10 de 1 in se atornilla en el espécimen a  $2/3$  in (17 mm) en el medio del ancho y al menos 2 in (50 mm) de los bordes del espécimen.

Se taladran agujeros guía usando un diámetro que conforme a las recomendaciones de la asociación americana manufacturera de tornillos son el 90% de la raíz del diámetro para tableros duros.

Una broca  $7/64$  in (2.8 mm) de diámetro debe ser usada para este propósito.

Extracción de tornillo del canto del tablero.

El espécimen de prueba es de  $2\ 1/2$  in (63 mm) de ancho y  $4\ 1/2$  in (114 mm) de largo y el espesor del tablero será el de fabricación.

El tornillo No. 10 para madera de 1 in es atornillado en el canto del tablero a la mitad del espesor,

usando un agujero guía que de acuerdo a las recomendaciones de A.S.M.A. son el 90% de la raíz del diámetro para maderas duras.

Una broca 7/64 in (2.8 mm) de diámetro es usada para este propósito.

Se ha reconocido que algunos agujeros guía al variar el diámetro pueden dar altos valores para la resistencia a la extracción para algunas densidades y clases de tableros. Si se usa otro diámetro en el agujero guía se debe reportar.

#### Método de carga.

La estructura para la extracción de tornillo -- en forma directa es la misma que la mostrada para la extracción directa de clavo mostrada en la figura 18. Sujetar los especímenes a la sección fija de la máquina de prueba. Insertar los especímenes en la parte fija con las cabezas de los tornillos por el agujero de aplicación de carga, juntar la sección para carga a la platina fija de la máquina de pruebas.

Aplicar las cargas por separación de los cabezales el accesorio es detallado en las figuras 18 y 19.

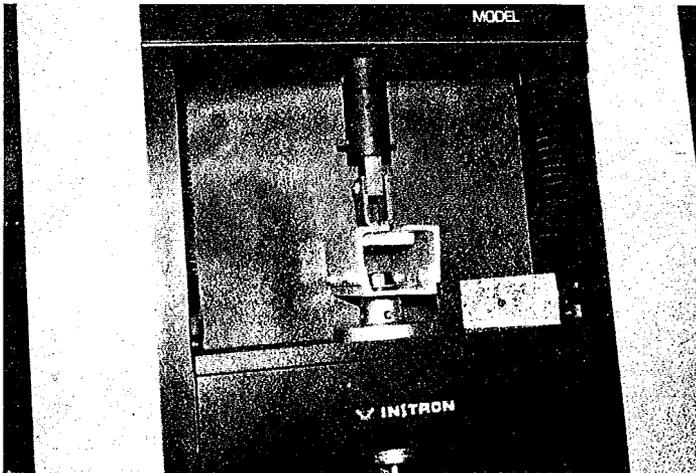
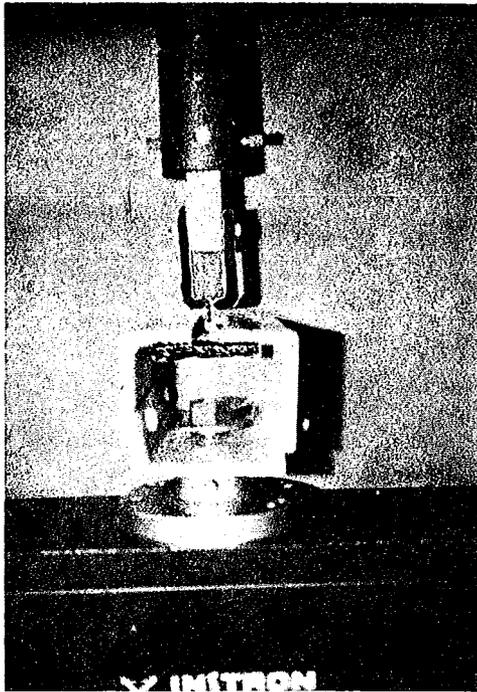


Figura 18  
Extraccion directa de tornillo .

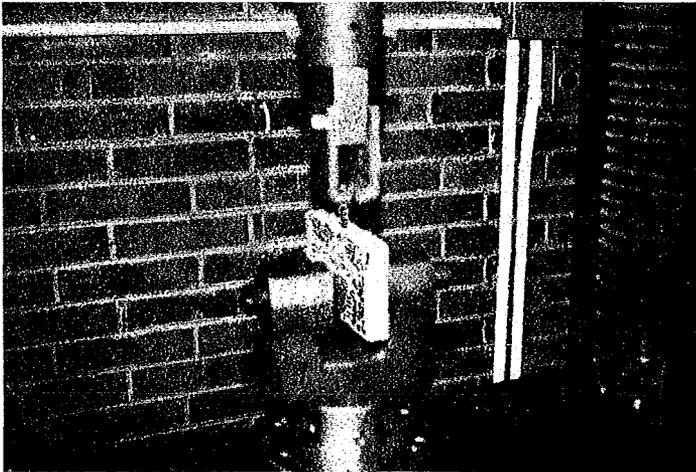
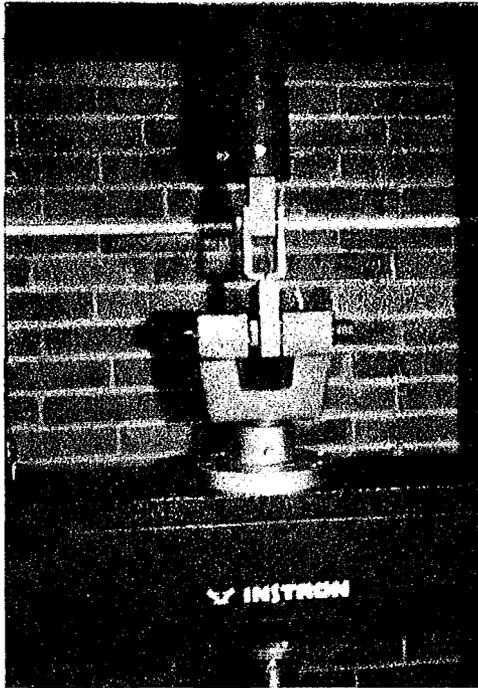


Figura 19 Extracción de tornillo del  
canto del tablero.

Velocidad de prueba.

Aplicar la carga al espécimen durante la prueba por el movimiento uniforme del cabezal de la máquina de a una velocidad de 0.06 in (1.5 mm)/min.

Se reporta lo siguiente:

Carga máxima necesaria para extraer el tornillo.

Diámetro del agujero guía usado indicando tipo y tamaño del tornillo.

Tipo de extracción diferenciando como superficie (extracción perpendicular al plano del tablero).

Si el tornillo se quiebra antes de producirse -- la extracción se especifica que este valor no es incluido en los valores reportados como valores de extracción.

#### A.6.- RESISTENCIA A LA TENSION PARALELA A LA SUPERFICIE.

La prueba para la resistencia a la tensión paralela a la superficie es realizada en materiales de 1 in (25 mm) o menores de espesor. Cuando el material excede 1 in en espesor, la compresión en los sujetadores puede durante la prueba afectar inversamente los valores obtenidos en la prueba. Es recomendable que para materiales mayores de 1 in de espesor se recorte a 1/2 in de es-

pesor. Los valores para especímenes recortados serán solamente aproximados a causa de que las resistencias del material cercanas a la superficie pueden variar del resto.

#### Especímenes de prueba.

Cada espécimen de prueba es preparado como se -- observa en la figura 20. El espesor y la amplitud mínima de cada espécimen en la sección reducida será medida a una exactitud no menor de 3%. El ancho mínimo de la sección -- reducida será determinado lo más cercano a 0.01 in (0.25-mm). Estas dimensiones se usan para determinar el área -- seccional neta y calcular la tensión máxima.

#### Método de carga.

Usar un sujetador alineado, con superficies dentadas de al menos 2 in (50 mm) de ancho y al menos de 2 -- in de largo para transmitir la carga de la máquina de --- pruebas a el espécimen, la figura 20 muestra un ensamble típico para la prueba de tensión paralela en tableros -- aglomerados.

#### Velocidad de prueba.

Aplicar la carga en forma continua durante la --

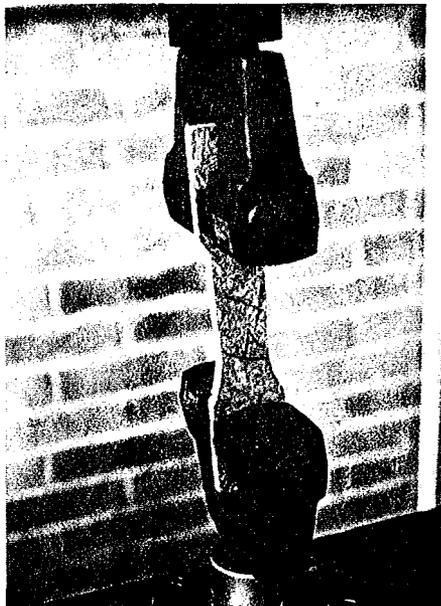


Figura 20  
Tensión paralela a la superficie

prueba a una velocidad uniforme del cabezal de la máquina de pruebas de no menos 0.125 o mayor de 0.175 in (3.18 a 4.45 mm)/min.

Obtener cargas máximas a partir de las cuales -- calcular la tensión. Si la falla esta a 1/2 in de algún - sujetador no se considera el valor obtenido.

#### A.7.- MODULO DE RUPTURA.

Máquina de pruebas.- Cualquier máquina de pruebas capaz de aplicar y medir la carga con un error que no exceda de  $\pm$  1.0%.

Algunas máquinas de prueba operadas a velocidades permisibles en estos procedimientos de prueba sin -- adecuado ajustador o corrector puede proporcionar valores erróneos a causa de un deslizamiento por efecto de - masa inercial en el sistema de pesado ó registro. Se debe realizar una cuidadosa selección de la máquina de -- pruebas de tal forma que el error no sea mayor de los -- estipulado.

Espacios y soportes.-

Los soportes y los bloques de carga serán redon

deados a un radio no menor de  $3/16$  in (5 mm) y no mayor de  $3/8$  in (10 mm) y sera al menos de 3 in (76 mm) de lar go.

El espacio será de 4 in (101 mm) de centro a -- centro de los soportes.

El espacio de 4 in es para uso cuando el espe - sor nominal de prueba no es menor de  $1/10$  in (2.5mm) ni - mayor de  $3/8$  in para espesores menores de  $1/10$  in se --- usara un espacio de 2 in (50 mm).

Especimen de prueba.

El especimen será de 3 in por 6 in (76 por 152- mm). Medir el espesor de cada especimen lo más próximo - a 0.001 in (0.02 mm), medir la anchura de cada especimen lo más próximo posible a 0.01 in (0.2 mm) en la línea de aplicación de carga.

Aplicación de carga.

Centrar el especimen en los soportes paralelos, colocar el especimen de prueba de tal forma que la pla - ca o lado rugoso cuando este pueda ser determinado es co locado en tensión. Aplicar la carga continuamente en la mitad del claro a una velocidad de movimiento del cabe -

zal movable no menor de 0.5 in (12 mm)/min, y no mayor -- de 1 in (25 mm)/min hasta que ocurra una falla definiti-- va, anotar carga máxima, un ensamble cracterístico de la prueba se muestra en la figura 21.

Calcular el módulo de rúptura R en libras por -- pulgada cuadrada (ó Kg por mm cuadrado) para cada especí-- men por la siguiente ecuación:

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

Donde:

P: Carga máxima lb (Kg)

L: Longitud entre apoyos in (mm)

b: Ancho del espécimen in (mm)

d: Espesor del espécimen in (mm)

#### A.8.- ABSORCION DE AGUA E HINCHAMIENTO DEL ESPESOR.

El procedimiento para determinar la absorción - de agua después de una inmersión de 24 hrs., será la misma que la proporcionada en secciones anteriores, excepto que solo se necesitan dos tipos de medidas, que son los-

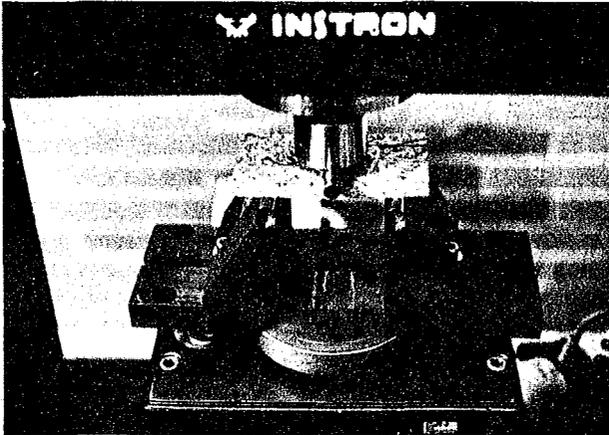


Figura 21  
Módulo de ruptura

pesos y los espesores antes y después de la inmersión de 24 hrs.

Seleccionar los especímenes como un cuadrado de 12 in (304 mm) para la prueba como se muestra en la figura 11.

Un espécimen de 6 in por 6 in (152 mm) puede -- ser usado por conveniencia como un tamaño de alternativa. El espécimen pequeño usualmente rendira valores ligeramente superiores para absorción de agua. En los casos donde es probable una discusión a causa de la cantidad de agua absorbida se debe usar especímenes de 12 in.

Calcular la absorción de agua y el espesor promedio de hinchamiento para cada panel de prueba y reportar lo más proximo a 1% en una base de peso.

#### A.9.- CONTENIDO DE HUMEDAD Y GRAVEDAS ESPECIFICA.

Determinar el contenido de humedad y la gravedad especifica, basandose en el volúmen y el peso en la prueba cuando se seco en la estufa.

Reportar valores promedio para cada panel de -- prueba lo más próximo a 0.1% para contenido de humedad y 0.01% para gravedad específica.

Para algunos propósitos de especificación puede ser ventajoso reportar densidad en lugar de gravedad específica. Cuando esto se hace reportar la densidad promedio en libras por pie cúbico.

#### Húmedad.

Desde luego las propiedades del material dependen mucho de la cantidad de humedad y frecuentemente --- es necesario conocer el contenido de humedad exacto de una muestra. La cantidad de humedad presente varía debido a diferentes circunstancias apreciablemente pero el peso seco de la muestra permanece constante. Debido a lo cual es usual expresar la variable -contenido de húme -- dad- como un porcentaje de la constante- peso seco del -- especímen.

Hay varias formas de determinar el contenido -- de humedad, pero el más satisfactorio para la mayoría -- de los propósitos es el método de secado a estufa.

#### Método de secado a estufa.-

En este método el contenido de humedad es obtenido como sigue:

$$\% H = \frac{\text{Peso inicial (muestra)} - \text{Peso final (muestra)}}{\text{Peso final (muestra)}} (100)$$

El peso inicial de la muestra es el peso al comienzo de la prueba y el peso final es el peso de la muestra seca ó a peso constante.

#### Procedimiento.

Se requiere de una balanza sencilla y una estufa para secar a unatemperatura más o menos constante.

Los puntos esenciales son los siguientes:

- 1.- Capacidad de mantener unatemperatura uniforme entre 95 y 105°C (205 a 220°F)
- 2.- Buena ventilación (una muestra calentada en un espacio cerrado, puede no perder humedad a causa de -- que el aire circundante se sature).

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Industrialización de los subproductos de la caña de azúcar. (Tesis) 1974  
Facultad de Ingeniería U.N.A.M.  
Carlos Vivanco.
- 2.- Materials and processes in manufacturing.  
E. Paul Degarmo M.S.
- 3.- Anteproyecto de una planta de tableros aglomerados de bagazo de caña. (Tesis) 1977  
Facultad de Química U.N.A.M.  
Fernando Sotres C.  
Lucia C. Cebalos C.  
Fernando M. Villarreal M.
- 4.- Enciclopedia de ciencia y tecnología.  
Mcgraw Hill.
- 5.- Aportación al estudio del análisis de los procesos en la fabricación de tableros aglomerados y posible utilización de los residuos agrícolas de México.  
(Tesis)  
Facultad de Química U.N.A.M.  
Jorge Ramos Estrada  
Armando F. Hernández
- 6.- Evaluatin the properties of wood board fiber & particle A.S.T.M.  
Parte 22 1976.
- 7.- Programación con fortran IV.  
Wilfred P. Rule
- 8.- El uso de los tableros de madera en la casa habitación.  
I Seminario Nacional sobre construcción y prefabrica

ción de vivienda con madera.  
México, D.F. abril 1972

- 9.- Características físico-mecánicas de la madera de 5 es  
pecies mexicanas.  
Departamento de Tecnología de la Madera  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales  
boletín técnico No. 42  
Octubre 1974.