

INSTITUTO SUPERIOR DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

TRABAJO DE DIPLOMA

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES QUIMICAS, ANATOMICAS
Y FISICO-MECANICAS DE LA MADERA DE TRES ESPECIES
FORESTALES DE IMPORTANCIA ECONOMICA**

PRESENTADO POR

**MARCOS A. GUATEMALA GARCIA
NORVIN E. SEPULVEDA RUIZ**

ASESORES

**DR. EZEQUIEL MONTES RUELAS
M.C. FRANCISCO J. FUENTES TALAVERA**

MANAGUA, NICARAGUA 1987

AGRADECIMIENTO

Queremos hacer patente nuestro más sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

A nuestros asesores Dr. Ezequiel Montes Ruelas y M.C. - Francisco J. Fuentes Talavera quienes con sus valiosas enseñanzas y su desinteresada ayuda, hicieron posible la realización de este trabajo.

Al Instituto de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara (México) en especial al personal del Dpto. - Física de la Madera.

A todas las personas que de diferentes formas contribuyeron a la conclusión de este trabajo.

Al heroico pueblo de Nicaragua, que con su lucha diaria es un ejemplo que nos inspira a la conquista de nuevas metas.

DEDICATORIA

A la memoria de los héroes y mártires que --
con su generosa sangre, han abonado el camino de la
libertad, independencia y soberanía nacional, ha---
ciendo de Nicaragua una Patria digna.

A nuestros familiares y amigos.

	Página
1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS	1
2. GENERALIDADES	
2.1 Descripción de las Especies	3
2.1.1 <u>Enterolobium cyclocarpum</u>	
2.1.2 <u>Pinus</u> sp	5
2.1.3 <u>Quercus castanea</u>	10
2.2 Anatomía de la Madera.	13
2.2.1 Importancia de la caracterización macroscópica y mi-- croscópica.	13
2.2.2 Características macroscópicas.	14
2.2.3 Características microscópicas.	15
2.2.3.1 Influencia de las características microscópi-- cas en la producción de papel.	17
2.2.3.2 Indices de calidad de las pulpas.	18
2.3 Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera.	19
2.3.1 Propiedades físicas de la madera.	20
2.3.1.1 Características que determinan el aspecto -- exterior de la madera.	20
2.3.1.2 Olor de la madera.	21
2.3.1.3 Humedad de la madera.	22
2.3.1.4 Densidad de la madera.	33
2.3.1.5 Propiedades térmicas de la madera.	49
2.3.1.6 Propiedades eléctricas.	55
2.3.1.7 Propiedades acústicas.	55
2.3.2 Propiedades mecánicas de la madera.	56
2.3.2.1 Propiedades elásticas.	59
2.3.2.2 Propiedades de resistencia.	63
2.4 Química de la Madera.	73
2.4.1 Componentes estructurales.	75.

2.4.2	Componentes extraños	79
2.5	Procesos de obtención de pulpas para la fabricación de papel.	82
3.	MATERIALES Y METODOS.	85
3.1	Material de estudio.	85
3.2	Estudio anatómico.	87
3.2.1	Estudio macroscópico.	87
3.2.2	Estudio microscópico.	87
3.3	Determinación de propiedades físicas y mecánicas.	89
3.3.1	Elaboración de probetas.	89
3.3.2	Número de probetas por ensayo.	100
3.3.3	Acondicionamiento de las probetas.	102
3.3.4	Realización de los ensayos.	102
3.4	Química de la madera.	106
3.4.1	Preparación de madera para análisis químico y determi nación del contenido de humedad.	106
3.4.2	Determinación de sustancias inorgánicas (cenizas).	112
3.4.3	Sustancias de la madera solubles en agua.	
3.4.3.1	Solubilidad en agua fría.	112
3.4.3.2	Solubilidad en agua caliente.	113
3.4.4	Extraíbles en solventes orgánicos.	113
3.4.4.1	Extraíbles en alcohol-benceno.	113
3.4.4.2	Extraíbles en etanol.	114
3.4.5	Solubilidad en hidróxido de sodio al 1%.	114
3.4.6	Determinación de carbohidratos de la madera. (holocelu losa.	115
3.5	Proceso de cocción al sulfato para <u>Quercus castanea</u> .	116
4.	RESULTADOS EXPERIMENTALES.	119
4.1	Resultados experimentales de anatomía.	119
4.2	Resultados experimentales de ensayos de propiedades físico- mecánicas.	124
4.3	Resultados experimentales de química.	127
4.4	Resultados experimentales de pulpeo.	128

5. DISCUSION DE RESULTADOS.	129
5.1 Anatomía de la madera.	129
5.2 Propiedades físicas y mecánicas.	133
5.3 Química de la madera.	135
5.4 Pulpeo.	137
6. CONCLUSIONES.	138
RESUMEN.	140
7. BIBLIOGRAFIA.	141

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS.

El bosque constituye un recurso renovable de múltiples beneficios, ya que además de ser productor de materias primas para la industria, es regulador del equilibrio ecológico, sirve de protección a suelos y cuencas hidrográficas, y brinda valores escénicos.

Para Nicaragua es uno de los recursos naturales de mayor importancia, tomando en cuenta que del territorio nacional (130,000 Km²), aproximadamente un 45% (58,000 Km²) es de vocación forestal.

Se cuenta con un patrimonio forestal (superficie arbolada), de 44,700 Km², de los cuales el 84% (39,000 Km²) corresponde a especies latifoliadas, y el 16% (5,700 Km²), a coníferas.

Como en la mayoría de los países Subdesarrollados, nuestro país ha carecido de vocación forestal. En el pasado se consideraba al bosque como una fuente inagotable de materias primas, sometiéndolo a explotaciones irracionales y de selección negativa. De más de 400 especies latifoliadas, tradicionalmente se han aprovechado de 25 a 30 especies solamente, lo que trae como consecuencia la degradación progresiva de éste recurso.

El uso más generalizado que se le ha venido dando a la madera, ha sido en la construcción, en la fabricación de muebles y como combustible. De entre las especies no utilizadas, a algunas se les ha considerado incluso como indeseables.

A partir del triunfo de la Revolución Popular Sandinista, se ha iniciado una política orientada hacia la conservación racional e integral de nuestros bosques. El conocimiento de las características de nuestras maderas reviste gran importancia lograr estos objetivos, ya que a través de ello se podrá evitar la sobreexplotación de un número reducido de especies de uso limi-

tado, y la incorporación de nuevas especies tanto para el consumo interno como para el mercado internacional.

En la actualidad no se tienen reportes de estudios integrales - que permitan conocer las características de nuestras maderas, - por lo que se considera de gran importancia la realización del presente trabajo, en el cual se ofrece un estudio anatómico completo de especies representativas de los géneros Enterolobium, Pinus y Quercus; se determinan a través de diferentes ensayos, las principales propiedades físicas y mecánicas; se cuantifican por diversos métodos químicos, los componentes extraíbles y carbohidratos de la madera; y finalmente, por medio de una cocción, se determinan las propiedades del género Quercus para la obtención de pulpa para papel.

La finalidad de esto es contribuir al conocimiento de las características de géneros típicos de la flora nicaragüense, y su mejor utilización. Para ello se proponen los siguientes objetivos:

- 1.- Establecer una metodología que sirva de base para posteriores estudios en Nicaragua.
- 2.- Proporcionar información básica que sea utilizada --- como material didáctico en la Escuela de Ciencias --- Forestales del Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias, (ISCA), y fuente de información a personas o instituciones que lo requieran.
- 3.- Realizar una descripción que sirva de guía para la -- identificación anatómica de las especies objeto de -- estudio.
- 4.- Determinar la importancia del aprovechamiento inte--- gral de las tres especies estudiadas, y su posible -- aplicación en Nicaragua.

2. GENERALIDADES.

2.1 Descripción de las Especies.

Para cada una de las especies objeto de estudio, se investigó la clasificación, descripción botánica, ecológica y distribución, fenológica y los principales usos que le dan tanto en otros países como en Nicaragua.

2.1.1 Enterolobium cyclocarpum (Jacq) Griseb.

Orden : Fabales
Familia : Leguminosae
Subfamilia: Mimosaceae

Descripción Botánica: Es conocida con los nombres comunes de: guanacaste, parota, orejón, huanacastle. Arbol hasta de 30 metros de altura y más de cien cms de diámetro normal; fuste derecho con pequeños contrafuertes en la base. Corteza externa lisa granulosa, a veces ligeramente fisurada, de gris clara a gris parduzca (51).

Corteza Interna: De color crema-rosado granulosa. Con un exudado pegajoso dulzón que se coagula al contacto con el aire; el grosor total de la corteza es de 20 a 30 milímetros. Ramas ascendentes y copa hemisférica, a veces más ancha que alta.

Hojas: Yemas de uno o dos milímetros, agudas, cubiertas por estípulas verde oscuras, pubescentes, estípulas de 2 a 3 milímetros de largo, filiformes y caedizas; las hojas están dispuestas en espiral,

bipinnadas de 15 a 20 cms de largo incluyendo el pecíolo, con 5 a diez pares de folíolos primarios compuestos. Apice agudo mucronado, base truncada o asimétrica, generalmente el último par de folíolos secundarios unguilados, verde brillantes y glabros en el haz y verde grisáceas y pubescentes en las hojas nuevas del envés. Los árboles de esta especie pierden las hojas cuando fructifican de febrero a abril (39).

Flores: En cabezuelas axilares de 1.5 a 2 centímetros de diámetro, sobre pedúnculos escasamente pubescentes de 1.5 a 3.5 cms de largo, flores actinomorfas, caliz verde de 2.5 a 3 milímetros de largo, ovario súpero alargado, multiovular.

Frutos: Vainas de 7 a 12 cms de diámetro aplanadas y enroscadas, leñosas, moreno oscuras, brillantes, de olor y sabor dulce, conteniendo numerosas semillas ovoides y aplanadas. (51) (39)

Ecología y Distribución: Se encuentra ampliamente distribuida en la vertiente del golfo desde Tamaulipas hasta la Península de Yucatán, y en el pacífico, desde Sinaloa hasta Centroamérica. Se encuentra en Zonas de vegetación perturbada, en selvas altas perennifolias y medianas subperennifolias, y aparentemente en asociaciones primarias de selvas subcaducifolias y caducifolias (31). Gusta de suelos profundos de los llamados vertisoles, ricos en motmorillonita (24).

En Nicaragua se le ha localizado en la Región del Pacífico; no forma bosques sino crece de forma aislada (10).

Fenología: Es de larga vida y de fructificación tardía, ya que produce su semilla a partir de los 8 a los 10 años; la floración es de febrero a abril y fructificación de abril a mayo, siendo de mayo a junio cuando las vainas llegan a su completa madurez y se desprenden del árbol con gran facilidad; la reproducción se hace por semilla, la cual tienen un gran poder germinativo.

Usos: Arbol de sombra de áreas ganaderas agrícolas. Industrialmente se le usa para la fabricación de puertas y lambrines, y en la fabricación de chapas, madera aserrada para la construcción y artesanías. También se le usa en la construcción de muebles. En Nicaragua se le usa como madera aserrada para construcción y decoración también se le usa con fines artesanales y construcción de muebles.

Algunos estudios reportan que puede ser aprovechada como especie forrajera especialmente sus ramillas (20%) y sus frutos (100%) (19).

La hoja y el fruto se muestran en la figura (2.1). En condiciones óptimas esta especie crece excepcionalmente rápido y su diámetro incrementa hasta 10 cm anualmente (36).

En un campo experimental se tuvo incrementos medio anuales de 1.23 cms de diámetro y 0.76 mts en altura (4).

2.1.2 Pinus douglasiana

Orden : Coniferae
Familia : Pinacea
Subfamilia : Abietinea

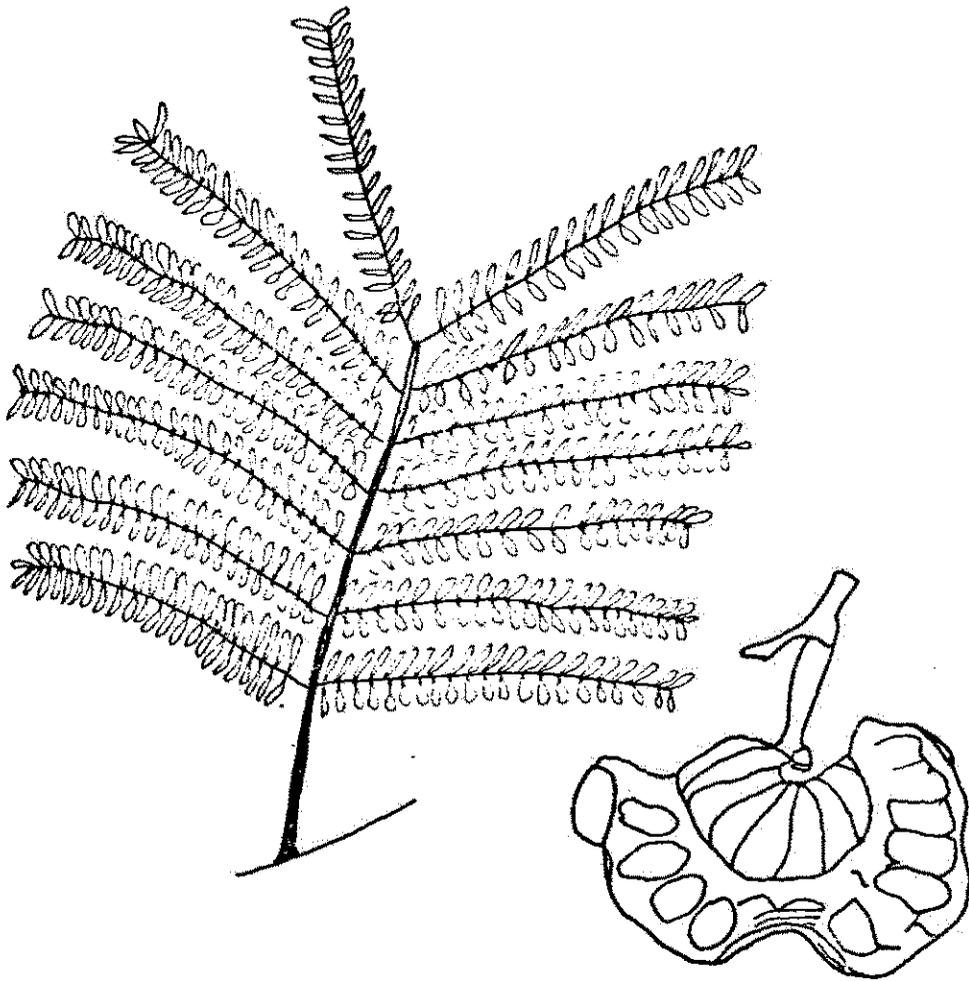


Fig. No. 2.1 Hojas y frutos de
Enterolobium cyclocarpum.

Descripción Botánica: Es conocida con el nombre de pino, pino blanco. Arbol de 20 mts de altura por 30 a 50 cms de D.A.P. Fuste derecho sin contrafuertes.

Corteza: Algo áspera, de 2 cms de espesor aproximadamente, de color rojizo y escamoso, dividida en placas irregulares. (47)

Copa: Redondeada y densa, ramas extendidas agrupadas en la parte superior del tronco, ramillas morenas con tinte rojizo y muy ásperas debido a la resistencia de la base de las brácteas, las cuales son anchas, brillantes, salientes y contiguas; se desca-man fácilmente.

Hojas: En grupos triangulares de cinco, casi derechos y agudos de 25 a 33 cms de largo con los bordes finamente aserrados, de color verde claro algo amarillentos, brillantes como tintes glaucos en las caras interiores, solamente visibles en las hojas tiernas; el hipodermo es filiforme, muy grueso, con 5 capas de células desiguales e irregularmente colocadas, yemas cónicas de color anaranjado rojizo.

Conos: Largamente ovoides, algo asimétricos ligeramente encorvados, de color moreno rojizo, de 7.5 a 10.5 cms de largo; se presentan en grupos de 3 a 5 sobre pedúnculos de unos 12 milímetros, oblicuos, y quedando el cono cuando éste cae. Escamas delgadas y frágiles Fig. (2.2).

Semilla: Oscura, casi ovoide de unos 5 milímetros de diámetro, con ala de 25 milímetros de largo por 8 de ancho, de color moreno (27) (30).

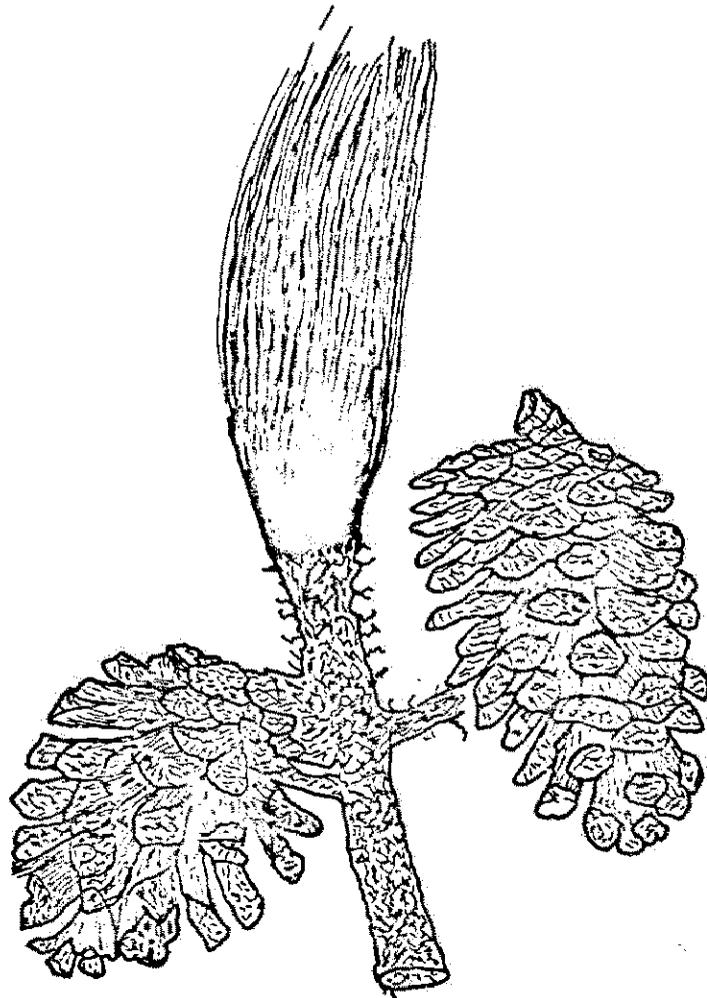


Fig. No. 22 Hojas y conos de Pinus douglasiana

Ecología y Distribución: Se encuentra distribuida en los estados de Jalisco, Michoacán, México, Hidalgo y Morelos.

Se encuentra formando asociaciones con pino leiophylla, donde esta es la especie predominante (21).

En Nicaragua el género *Pinus* está representado por tres especies, siendo éstas *Pinus Oocarpa*, *Pinus pseudostrobus* en la región central (Matagalpa Jinotega, Estelí, Nueva Segovia, Madriz) y el *Pinus caribaea* en la región atlántica (Zelaya norte). Existiendo 326 mil hectáreas en total (10).

Nicaragua constituye el punto geográfico donde el género *pinus* se desarrolla en la latitud más baja naturalmente. (37)

Fenología: Es de vida media y su fructificación es temprana. Su reproducción se hace por semilla.

Usos: Se utiliza como madera aserrada en la construcción de muebles, artesanías, fabricación de tableros, en la industria química para extraer aceites esenciales, fabricación de chapas, y en la fabricación de papel.

En Nicaragua, el pino es utilizado como madera aserrada en las construcciones, elaboración de muebles y artesanías.

2.1.3 Quercus castanea Neé.

Orden : Fagales
Familia : Fagaceae
Subfamilia: no tiene

Es conocido con los nombres de: encino, roble.

Descripción Botánica: Arbol de 4 a 15 metros de altura, con troncos de 30 a 40 cm de diámetro.

Corteza: Rugosa y dura de color gris oscuro, ramillas delgadas de 2 a 3 milímetros de diámetro, algo acanaladas al principio escamosas y después lisas y grisáceas. Yemas ovoides lisas y morenas de 3-4 milímetros de diámetro.

Hojas: elíptico-lanceoladas y oblongas, generalmente de 7 a 9 cm de largo por tres de ancho, con ápice agudo y base redondeada, cordada o dentada, con pocos dientes cortos, ocasionalmente enteros, casi lisos arriba y estrellado tomentoso abajo, de color verde pálido sobre todo en la cara inferior, nervaduras de 8 a 10 a cada lado, bifurcadas, levemente encorvadas, claramente reticuladas, peciolo liso y algo tomentoso de 5 a 10 milímetros de largo por 1.5 de ancho.

Fruto: Anual, solitario o en grupos sobre pedúnculo de 3 a 9 mm de largo, bellota anchamente oval de unos 10 mm de largo (Fig. 2.3).

Flores: Tiene flores masculinas en pequeños amentos que se presentan en racimos, y flores femeninas pequeñas y solitarias. Su germinación es hipogea, demostrando gran vitalidad; se reproduce fácilmente por renuevos (29) (39).

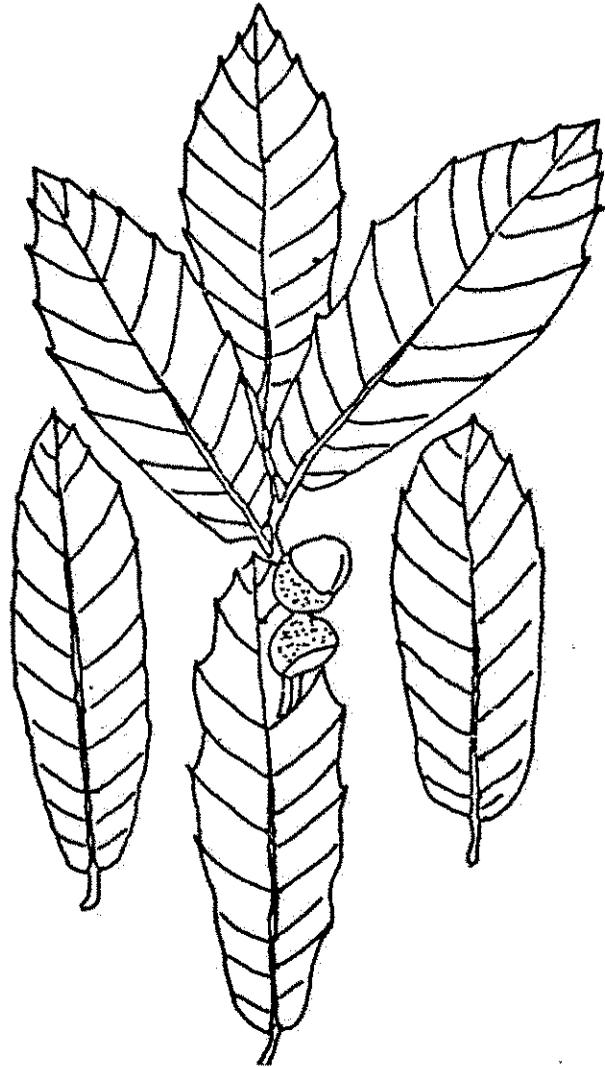


FIG. No. 2.3 QUERCUS CASTANEA MOSTRANDO HOJAS Y FRUTOS

Ecología y Distribución: Se localiza en los estados de Virginia y Florida; Cuba y centroamérica, es intolerable a la sombra y a ciertos tipos de suelos pesados húmedos y calizos, se le encuentra formando asociaciones con el pino. Se le ha localizado en suelos silicios y arcillosos de reacción ácida y bien drenados.

Fenología: Los árboles a pleno sol fructifican desde edad temprana (4 ó 6 años) el repoblado natural es denso. Madura de octubre a diciembre y florece de marzo a abril, tiene alto poder germinativo, este puede llegar al 90% en semillas bien frescas; la desecación es fatal para esta clase de fruto por lo que debe sembrarse inmediatamente después de la maduración.

En Nicaragua el encino se desarrolla en asociaciones con el Pinus oocarpa desplazando a éste por su gran vitalidad y por el exceso de explotación que sufre el pino, llegando a formar además rosales puros.

Usos: Su madera es dura y pesada, se le utiliza en la fabricación de muebles, traviezas, horcones y postes.

En Nicaragua es considerada como una planta nefasta y de poca utilidad usándose únicamente como leña y carbón, y en algunas ocasiones como postes y madera aserrada.

En el mercado mundial la madera de encinos es muy apreciada en países como Japón, Hungría, Francia e Inglaterra (13) (15).

El *Quercus* puede emplearse como forraje: el 10% de la hoja y el 100% del fruto (19).

2.2 Anatomía de la Madera.

2.2.1 Importancia de la Caracterización Macroscópica y Microscópica.

El conocimiento de los caracteres anatómicos de la madera tienen gran importancia, ya que por medio de su microscopía podemos saber la forma, tamaño y ordenación de sus elementos celulares.

Constituye la base para estudios sobre la utilización de madera para pulpa y papel, para mejorar o implementar nuevos usos y deducir el comportamiento de la madera durante los procesos de impregnación, secado y preservación.

Es de gran utilidad para la descripción, identificación, clasificación y evolución de la madera, ya que al diferenciar sus características se puede llevar a formar claves necesarias en Botánica sistemática.

Los estudios anatómicos constituyen un avance para determinar la adecuada utilización de nuestros recursos forestales, hasta ahora desconocidos.

2.2.2 Características Macroscópicas.

Son llamadas también estéticas u organolépticas, -- pues son fácilmente percibidas por nuestros sentidos, y se observan a simple vista.

Veteado: Es el diseño o dibujo que se produce en las superficies longitudinales, la disposición de sus elementos constitutivos en el plan leñoso, o el tamaño y abundancia de los mismos (9) (58).

Lo constituyen rectas paralelas cuya separación es siempre igual a la anchura del anillo anual (cara radial) y en la cara tangencial tiene la forma de curva más o menos deformada que se aproximan a parábolas o a secciones de elipses, muy apreciadas en ebanistería (26) (41).

Color: Es originado por substancias colorantes xilocromos depositadas en el interior de las células; se debe también a peculiaridades anatómicas, físicas y químicas. Por medio del color se puede inferir la cantidad de extraíbles que contiene la madera. (26)

Brillo: Es la capacidad que tienen las maderas de reflejar la luz en las superficies longitudinales, tiene poca importancia desde el punto de vista industrial (9).

Textura: Es la distribución y tamaño relativo de los elementos leñosos. Se encuentran contribuyendo a la determinación de la misma, en primer lugar los elementos parénquimatosos, y en segundo lugar los fibrosos (20).

Hilo o Grano: Es la disposición en dirección longitudinal de los elementos constitutivos de la madera; es una de las características anatómicas que intervienen directamente en la respuesta y comportamiento de las propiedades mecánicas y las contracciones; influye en el aserrado de la madera y en la resistencia de ésta (41) (16).

Olor: Es producido por sustancias volátiles especialmente resinas y aceites esenciales existentes en la células, los que al volatizarse lentamente -- exhalan aromas perfumados que percibe nuestro olfato (26).

Sabor: Es producido por las sustancias extraíbles de la madera.

Anillos Anuales de Crecimiento: Son zonas de crecimiento producidas por influencias en el clima, edad, especie, suelo y posición fitosociológica del árbol en el bosque; son de utilidad para su identificación en anatomía de la madera; en parte, de éstos se puede deducir las propiedades físicas y mecánicas de la madera, así como la facilidad de labrarla (8) (55).

Radios Medulares: Ocupan del 10% al 48% del plan leñoso y están constituidos por células de naturaleza parenquimática dispuestas en filas radiales; influyen notablemente en el secado de la madera (26).

2.2.3 Características Microscópicas.

Fibras: Es un término que en anatomía de maderas se emplea en relación con cualquier célula larga y delgada del leño o de la corteza que no sea un vaso

o parénquima. Sirven predominantemente para el sostén. Desviaciones de la orientación normal y recta pueden dificultar la docilidad en carpintería. En las fibras existen pequeñas aberturas en la pared celular denominadas punteaduras que le sirven como medio de comunicación entre las células (55) (26) (14).

Traqueidas: Células prosenquimáticas de diversas formas que sirven para el sostén, conducción o almacenamiento. No se presentan en todas las especies (55) (26) (14).

Parénquima: Es un tejido que sirve para el almacenamiento de sustancias de reserva y la conducción de nutrientes y sustancias de crecimiento. Su influencia es negativa en la resistencia de la madera (8) (16) (55) (58), y en el pulpeo; pues constituyen prácticamente todos los finos.

Vasos o Poros: Son células muertas lignificadas, formadas como resultado de la unión de varios elementos vasculares orientados axialmente. Sus funciones son conducción, almacenamiento de agua y aireación. A mayor número en la madera disminuye la densidad de ésta, disminuyendo así su resistencia. Se encuentran únicamente en latifoliadas.

Observando el aspecto que representan los poros (libre o presencia de tilosis) puede predecirse los inconvenientes que presentará o no en la impregnación; una madera muy porosa tendrá un rendimiento en pulpa mucho más bajo que otra menos porosa (55) (26) (16) (27).

Canal Resinífero: Es un espacio tubular que se encuentra revestido de células epiteliales; puede lo-

calizarse en dirección axial o radial. Se forma -- por la separación de células epiteliales, su fun--- ción es conducción de substancias. Se encuentra -- únicamente en coníferas (55) (58) (14) (8).

2.2.3.1 Influencia de las características microscópicas en la producción de papel.

La longitud de la fibra le proporciona características variadas al papel; cuando -- las pulpas son de fibra corta, proporciona suavidad, opacidad y lisura de la hoja. - Las pulpas de fibras cortas en un 100% dan mayor debilidad en la hoja húmeda y la resistencia es inferior. Las pulpas con mayor porcentaje de fibras largas sirve para papeles de mayor resistencia al rasgado, - debido posiblemente al enlazamiento entre fibras dando como resultado una distribu--- ción de fuerza en el papel.

Tanto el diámetro de la fibra como el grosor de la pared celular influyen en el com--- portamiento de la pulpa, en las operacio--- nes de lavado cernido y refinado, por lo - que tienen un importante efecto en la formación de la hoja, en el enlazado, rigidez y movilidad de las fibras.

Fibras con paredes delgadas son mejores -- porque se aplastan, tomando la forma de -- bandas y ocupando una mayor área superfi--- cial de contacto, sucediendo lo contrario con fibras de paredes gruesas que son tie--- sas y mantienen su forma poligonal, difi--- cultando el enlazamiento entre las fibras;

sin embargo, son resistentes al rasgado y a la degradación por batido. A mayor grosor de la pared celular hay un volumen alto en producción de pulpa básica, hojas más gruesas, resistencia al rasgado más alta, presentando además alta opacidad, superficie de hojas rústicas y un crecimiento en los valores de explosión, tensión y doblado (12) (54) (14).

2.2.3.2 Indices de calidad de las pulpas:

Coeficiente de Rigidez o Índice de Rigidez:

Se obtiene al dividir el grosor de las dos paredes de la fibra entre su diámetro $2W/D$. A este coeficiente se le ha encontrado una influencia muy importante en el rasgado, esta resistencia es una de las variables que nada influye en las pulpas sin batir, además presenta una relación negativa de la porosidad de la hoja (20) (54).

Coeficiente de Flexibilidad: Es la relación del diámetro de lumen (l/D) entre diámetro de la fibra; se conoce que éste coeficiente ha tenido una relación directa con las pulpas Kraft, dando mayor resistencia a la explosión y a la tensión en las pulpas sin batir, esto puede deberse a la reacción que existe entre el coeficiente, las fuerzas intrínsecas y el decrecimiento de los freenes, es decir, que con el proceso de batido hay una disminución de la resistencia a la tensión y a la explosión de las pulpas (60). El índice de la flexibilidad también se encuentra relacionado directamente con la resistencia al doblaje del papel (12).

Coeficiente de Peteri: También es llamado índice de flexibilidad de Peteri, índice de esbeltez o índice de filtrado. Se obtiene mediante la relación de la longitud de la fibra entre su diámetro (L/D). Esta relación tiene una significancia en el rasgado y en la densidad de la hoja, al aumentar la relación (L/D) aumenta la longitud de rompimiento de la hoja (34).

Relación Runkel: Se determina al dividir el grosor de las dos paredes de la fibra entre el diámetro del lumen ($2W/L$); con los cocientes obtenidos se determina la calidad de la pulpa por medio de la clasificación de Runkel que considera cinco grados:

- 1.- menor que 0.25 excelente/papel
 - 2.- entre 0.25 y 0.50 muy buena/papel
 - 3.- entre 0.50 y 1.00 buena/papel
 - 4.- entre 1.00 y 2.00 regular/papel
 - 5.- mayor que 2.00 mala/papel
- (54)

2.3 Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera.

La madera, por ser un material heterogéneo y anisotrópico, sufre variaciones en sus propiedades físicas y principalmente en las mecánicas. Estas propiedades varían según la orientación de las fibras en los esfuerzos que actúan sobre una pieza. Como la madera tiene tres ejes principales que son: transversal, tangencial y radial, las propiedades físicas y mecánicas son diferentes en dirección de cada uno de éstos ejes, aunque en muchas ocasiones estas diferencias entre el eje tangencial y el radial son mínimas.

2.3.1 Propiedades Físicas de la Madera.

Como propiedades físicas de la madera se conocen -- aquellas características que son determinadas sin -- modificar la integridad estructural (física y quími -- ca) de la probeta, haciendo uso único y exclusiva -- mente de una inspección visual, determinaciones de su peso y dimensiones, y del secado (38).

A continuación se enumeran las principales propieda -- des físicas de la madera:

- Aspecto exterior
- Olor
- Humedad y sus efectos
- Densidad
- Propiedades térmicas
- Propiedades eléctricas
- Propiedades acústicas

2.3.1.1 Características que determinan el aspecto exterior de la madera.

Las características que determinan el as -- pecto exterior de la madera son: color, -- brillo, textura y macroestructura. Las -- tres primeras prácticamente definen la pro -- piedad decorativa y artística de la madera; sin embargo, éstas propiedades dependen de la especie, zona climática, edad del árbol, sustancias extraíbles, cantidad y disposi -- ción de radios medulares, y densidad entre otras.

Por otro lado, es necesario mencionar que éstas características pueden ser acentua -- das por medio de tratamientos de acabado.

La macroestructura nos define lo referente al ancho de anillos de crecimiento, contenido de madera tardía y magnitud de las asperezas estructurales (41).

El ancho de anillos anuales y contenido de madera tardía, presentan una fuerte correlación con las propiedades físicas y mecánicas de la madera, es decir, entre mayor sea el número de anillos anuales (más de tres y menos de 25 por cm lineal), mejores propiedades presentará la madera, dependiendo de la especie que se trate.

La magnitud de las asperezas estructurales nos define el grado de "asperidad" que presenta una madera al ser trabajada con herramientas cortantes; ésta propiedad está íntimamente ligada con su respectiva estructura anatómica.

La importancia de todas estas características que determinan el aspecto exterior de la madera, radica básicamente en los usos finales más apropiados que se le puedan dar a ésta; tenemos por ejemplo: fabricación de muebles, instrumentos musicales, artículos de carpintería, objetos artísticos, labrados, artesanías, etc.

2.3.1.2 Olor de la madera.

El olor es una propiedad física de la madera, y como tal la mencionaremos en la presente sección, en complemento a lo mencionado anteriormente sobre este aspecto.

Gracias a ésta característica, algunas especies de madera resultan de fácil identificación, tal es el caso del pino, que presenta un olor característico a trementina; el encino presenta un fuerte olor a curtiientes. Existen especies que al ser cortadas presentan un olor, el que cambia posteriormente con el tiempo y las condiciones.

Se considera que la zona del duramen es la que presenta un mayor olor debido a la concentración de sustancias (resinas, curtientes, aceites esenciales, etc.), que se encuentran almacenados dentro de las células inactivas de ésta zona.

La importancia básica de esta propiedad radica en la utilización de la madera para la fabricación de toneles y embalajes (18).

2.3.1.3 Humedad de la madera.

La humedad de la madera se define como la relación entre la cantidad de agua que se encuentra en un volumen dado de madera, y la masa de esa madera absolutamente seca. Esta relación se expresa siempre en porcentaje.

El agua contenida en la madera es uno de los factores que influye principalmente sobre las demás propiedades físicas y mecánicas de la misma, es decir, el comportamiento físico-mecánico de la madera, está estrechamente relacionado con el contenido

de humedad. Sin embargo, esta relación la analizaremos con más detalle posteriormente.

Dentro de la madera distinguimos dos "tipos de agua":

- Agua de constitución, que es la que se encuentra en las membranas celulares y se considera químicamente ligada a los grupos hidroxilos (OH), de la celulosa.
- Agua libre, la cual se localiza en los espacios intercelulares de la madera.

En los procesos de secado de la madera, resulta más fácil la eliminación del agua libre, debido a que, como lo señala su nombre, no se encuentra ligada estructuralmente a la célula; sin embargo, la evaporación del agua de constitución resulta ser un proceso bastante lento y delicado, dependiendo de la especie que se trate.

De la relación de los dos términos anteriores, resulta el llamado punto de saturación de la fibra (PSF), o límite de higroscopividad, el cual nos define el estado de la madera en que las membranas celulares contienen la máxima cantidad de agua de constitución, pero los espacios huecos se encuentran llenos de aire.

De acuerdo a investigaciones realizadas al respecto, se considera que el PSF corres-

ponde aproximadamente a un 30% de humedad dependiendo de la especie (26).

El contenido de madera verde varía tanto dentro de una misma especie como entre especies. Por ejemplo, en el caso de coníferas, el contenido de humedad en la albura suele ser hasta tres veces mayor que en el duramen; por su parte, en latifoliadas también existe esta diferencia, aunque en menor proporción. Otros factores que influyen sobre el contenido de humedad de la madera son:

- Altura del árbol: se sabe que en la parte superior del mismo, el contenido de humedad es mayor, relacionándolo a la albura, pues en el duramen no hay mucha variación a lo largo del fuste.
- Diámetro del fuste.
- Edad del árbol: a mayor edad, menor contenido de agua y sustancias nutritivas circulan por sus tejidos, debido a la reducción en sus funciones fisiológicas.
- Época del año o estación vegetativa.

Métodos para determinar el contenido de humedad de la madera.

Existen diversos métodos para determinar el contenido de humedad de la madera. En-

tre los más importantes encontramos los siguientes:

- Secado en estufa:

Consiste en tomar una muestra de madera que se pesa y se coloca en una estufa, donde se seca a temperatura aproximada de 105°C , hasta que tenga un peso constante (después de pesar la muestra periódicamente). Se registra el peso correspondiente, es decir, el peso anhidro, y el contenido de humedad se calcula relacionando el peso inicial menos el peso anhidro, con el peso anhidro. El resultado de esta relación se multiplica por cien para referirlo en porcentaje como es usual.

Este método ofrece algunas ventajas, entre las que podemos mencionar la precisión de la determinación, y el hecho de que es referencial para todas las normas que se utilizan en los diferentes países.

La desventaja principal es que por necesitarse de 12 a 24 horas de secado, es un método tardado.

Determinación con higrómetro:

El contenido de humedad también puede determinarse con este tipo de instrumentos portátiles, cuyo funcionamiento se basa en las propiedades eléctricas de la madera: cuanto más seca esté la madera, hay mayor resistencia al paso de una corriente eléctrica, y viceversa. La madera actúa como una

resistencia en el circuito eléctrico del medidor; para formar el circuito se introducen agujas en la madera, de modo que la corriente entre los electrodos circule en dirección paralela a las fibras.

La resistencia a una corriente eléctrica directa, es un millón de veces mayor cuando la madera está anhidra que con un contenido de humedad de 30%. La resistencia -- que la madera saturada de humedad ofrece a una corriente eléctrica, es alrededor de 50 veces menor que a un contenido de humedad de 30%. Esto explica que éstos instrumentos tienen capacidad de medir la humedad de la madera cuando se encuentra abajo del punto de saturación de la fibra, en un intervalo entre 4 y 25% de humedad.

Las ventajas que ofrecen los higrómetros, son la rapidez de la determinación y la -- precisión, que alcanza un $\pm 2\%$. De entre las principales desventajas, mencionaremos su alto costo y el hecho de que utilidad -- se restringe a rangos de contenido de humedad como los mencionados en el párrafo anterior (9).

Propiedades ligadas al cambio de humedad de la madera.

- Contracción de la madera:

La contracción es la disminución de -- las dimensiones lineales (tangencial, radial y longitudinal), de la madera

así como de su volumen, a causa de -- pérdida de humedad. Este fenómeno se inicia precisamente en el instante en que, al haberse evaporado toda el --- agua libre, se inicia el desalojo del agua de constitución.

Debido a la constitución anisotrópica de - la madera, la contracción se presenta dife-
rente para cada uno de los ejes anatómicos principales, siendo la dirección tangen---
cial la que presenta mayor contracción, se-
guida de las direcciones radial y longitu-
dinal. Se puede considerar que en la di-
rección radial, la contracción puede ser -
aproximadamente un 50% de la tangencial, -
mientras que la longitudinal puede ser in-
significante.

Para ilustrar ésta propiedad, se presenta a continuación una tabla y una gráfica con algunos datos al respecto.

CALIFICACION	VOLUMETRICA (%)	TANGENCIAL (%)	RADIAL (%)
Muy baja	0 - 4.1	0 - 2.5	0 - 1.0
Baja	4.2 - 5.6	2.6 - 4.0	1.1 - 2.1
Mediana	5.7 - 8.5	4.1 - 5.5	2.2 - 3.0
Alta	8.6 - 10.8	5.6 - 7.0	3.1 - 4.0
Muy alta	10.9 a más	7.1 a más	4.1 a más

Tabla 2.1.- Clasificación de la contracción expresada en base a la dimensión en verde. (17)

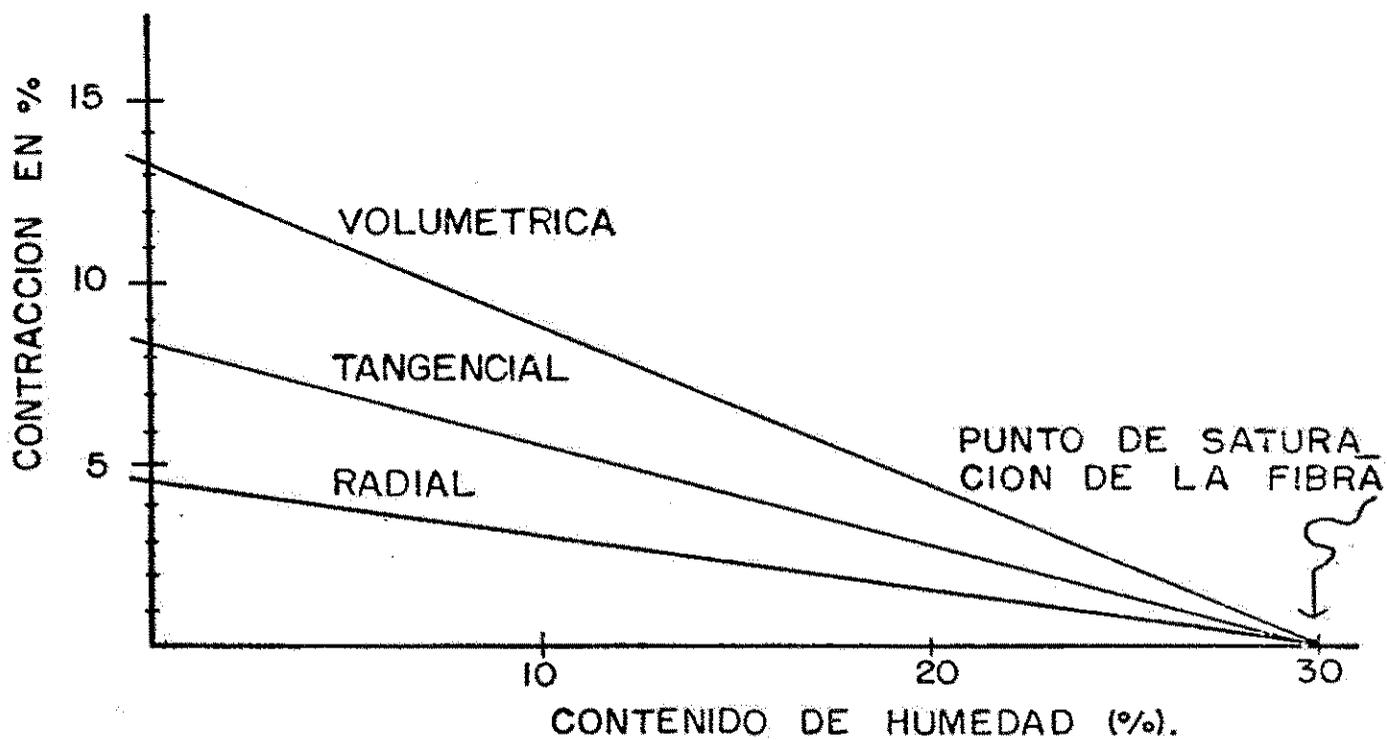


Fig. 24 CAMBIOS DIMENSIONALES EN SENTIDO DE LOS EJES DE LA MADERA.

La suma de las contracciones tangencial, radial y longitudinal, nos muestra la llamada contracción volumétrica, la cual tiene su mayor importancia en el proceso de asechado de los fustes, para determinar el margen de sobremedida (refuerzo), que debe llevar la tabla, y evitar que al secarse ésta no presente las dimensiones requeridas. También es importante considerar esta contracción cuando se va a destinar madera para la construcción de estructuras habitacionales o muebles.

- Hinchamiento de la madera:

Se define como el aumento de las dimensiones lineales y de volumen que sufre la madera al incrementarse su contenido de humedad, básicamente el agua de constitución. Se puede decir que es el fenómeno inverso a la contracción.

Este fenómeno se presenta únicamente dentro del rango higroscópico de la madera. Esto significa que el aumento del contenido de humedad por arriba del punto de saturación de la fibra, no provoca ningún cambio dimensional.

Al igual que en la contracción, el mayor índice de hinchamiento se presenta en dirección tangencial, seguido de las direcciones radial y longitudinal.

La propiedad de hinchamiento de la madera se ve influenciada también por la especie

y densidad; se considera que a mayor densidad, mayor hinchamiento se presentará, y viceversa.

Dependiendo de la aplicación práctica que se le vaya a dar a esta propiedad, podemos expresarla de las siguientes formas:

- Hinchamiento máximo (∞).
Está definido por el aumento dimensional tangencial, radial y longitudinal que sufre una pieza de madera al pasar de un estado completamente seco a un estado completamente húmedo. Normalmente se expresa en %.
- Coeficiente de hinchamiento (h).
El es hinchamiento porcentual que presenta una madera en sus dimensiones lineales tangencial, radial y longitudinal, por cada unidad porcentual de modificación de la humedad relativa del aire, en un rango de ésta de 35-85%. Los valores se expresen en %.
- Hinchamiento diferencial (q).
El es hinchamiento porcentual que sufre una pieza de madera en sus dimensiones lineales, por cada unidad porcentual de variación en su contenido de humedad, en un rango de humedad de uso práctico de 5 - 25%. Los valores se expresan en %.
- Anisotropía del hinchamiento (Aq).
El comportamiento anisotrópico de la madera nos ha señalado que al existir

cambios de humedad en ella, no solamente se presentan modificaciones en las dimensiones, sino que pueden ocurrir también deformaciones tanto de objetos como en construcciones de madera. Por ejemplo, cuando los cantos de madera aserrada no transcurren en forma paralela a las direcciones anatómicas, una modificación del contenido de humedad puede provocar graves consecuencias, como agrietamientos y cambios de forma.

Este tipo de problema tiene una relación directa con la anisotropía del hinchamiento, que se define como el cociente del hinchamiento diferencial tangencial e hinchamiento diferencial radial. Entre más alto sea el valor de la anisotropía del hinchamiento, mucho mayor probabilidad existe de un fuerte agrietamiento o deformación en la pieza de madera (50).

Algunos datos sobre el hinchamiento y contracción por secado, se expresan en la siguiente tabla.

M a d e r a	Hinchamiento Máximo		Contracción/Secado	
	Tang. (%)	Radial (%)	Tang. (%)	Radial (%)
<i>Pinus douglasiana</i>	8.9	4.0	5.2	2.2
<i>Pinus leiophylla</i>	7.9	3.8	4.9	2.1

Tabla 2.2.- Hinchamiento y contracción en dos especies de pinos (17).

HINCHAMIENTO DIFERENCIAL (% de cambio dimensión por % cambio de humedad en madera)				ANISOTROPIA DEL
	RADIAL q_r	PROMEDIO q_l	TANGENCIAL q_t	HINCHAMIENTO q_t / q_r
Cedro	0.13	0.19	0.24	1.8
Nogal	0.18	0.24	0.29	1.6
Encino	0.18	0.26	0.34	1.9
Pino	0.19	0.27	0.36	1.9
Fresno	0.21	0.30	0.38	1.8
Abeto	0.19	0.28	0.36	1.9
Haya	0.20	0.31	0.41	2.1

Tabla 2.3.- Hinchamiento diferencial y anisotropía del hinchamiento. (17)

COEFICIENTE DE HINCHAMIENTO (% de cambio dimensional por % de cambio de humedad relativa)			
	RADIAL h_r	PROMEDIO h_l	TANGENCIAL h_t
Cedro	0.024	0.034	0.044
Nogal	0.034	0.044	0.054
Encino	0.033	0.048	0.063
Pino	0.035	0.052	0.068
Fresno	0.043	0.061	0.078
Abeto	0.037	0.054	0.070
Haya	0.032	0.049	0.065

Tabla 2.4.- Coeficientes de hinchamiento. (17)

	HINCHAMIENTO DIFERENCIAL (% de cambio dimensión por % cambio de humedad en madera)			ANISOTROPIA DEL
	RADIAL q_r	PROMEDIO q_l	TANGENCIAL q_t	HINCHAMIENTO q_t / q_r
Cedro	0.13	0.19	0.24	1.8
Nogal	0.18	0.24	0.29	1.6
Encino	0.18	0.26	0.34	1.9
Pino	0.19	0.27	0.36	1.9
Fresno	0.21	0.30	0.38	1.8
Abeto	0.19	0.28	0.36	1.9
Haya	0.20	0.31	0.41	2.1

Tabla 2.3.- Hinchamiento diferencial y anisotropía del hinchamiento. (17)

	COEFICIENTE DE HINCHAMIENTO (% de cambio dimensional por % de cambio de humedad relativa)		
	RADIAL h_r	PROMEDIO h_l	TANGENCIAL h_t
Cedro	0.024	0.034	0.044
Nogal	0.034	0.044	0.054
Encino	0.033	0.048	0.063
Pino	0.035	0.052	0.068
Fresno	0.043	0.061	0.078
Abeto	0.037	0.054	0.070
Haya	0.032	0.049	0.065

Tabla 2.4.- Coeficientes de hinchamiento. (17)

2.3.1.4 Densidad de la madera.

La densidad es una de las propiedades físicas más importantes de la madera, ya que presenta una alta correlación con todas las demás propiedades físico-mecánicas; esto quiere decir que existe una gran influencia de parte de la densidad sobre las demás propiedades de la madera.

La densidad se obtiene de la relación del peso y del volumen de la "sustancia leñosa" de la pared celular. Se debe entender que en la madera, por ser un material poroso, el volumen estará constituido por el volumen de los poros más el volumen de sustancia leñosa de la pared celular; por consiguiente, entre mayor sea la cantidad de masa de pared celular, mayor será la densidad.

El concepto de densidad para la madera, lo podemos encontrar, tanto en la bibliografía como en la práctica, citado de diferentes formas. A continuación enunciaremos los términos más usados:

- Densidad anhidro.

Resulta del peso y volumen anhidro, y nos muestra la cantidad de masa de la pared celular que está contenida en 1 cm^3 de madera completamente seca.

- Densidad normal.

El término densidad normal nos indica el valor determinado cuando la madera contiene un 12% de humedad. Dentro -

del campo de la investigación, este es el término que más frecuentemente se indica, puesto que la mayoría de las pruebas se efectúan a este contenido de humedad, siendo de esta forma factible la comparación de resultados obtenidos en diferentes centros de investigación.

- Densidad real.

La densidad real de la madera nos indica única y exclusivamente el peso de la sustancia que compone la pared celular, o sea, que prácticamente se trata del peso específico del principal material de constitución de la misma.

De acuerdo a diferentes investigaciones, se determinó que la densidad de la celulosa es de 1.58 g/cm^3 ; la de la lignina está entre $1.38 - 1.46 \text{ g/cm}^3$. Posteriormente, a partir de éstos datos, se definió que la densidad real de la pared celular oscilaba entre $1.50 - 1.56 \text{ g/cm}^3$. Actualmente se utiliza un valor para la densidad real de 1.53 g/cm^3 , y es válido para todo tipo de maderas.

- Densidad convencional.

Resulta del peso anhidro y el volumen verde de la madera. El término nos indica qué cantidad de madera seca se encuentra en 1 m^3 de madera completamente hinchada. Es muy útil su aplicación para efectos comerciales.

A continuación se presenta una tabla que refiere valores de diferentes densidades para algunas maderas .

Madera	DENSIDAD ANHIDRO		Densidad Convencional Kg/m ³
	Promedio g/cm ³	Valores Límites g/cm ³	
Balsa	0.13	0.44 - 0.23	120.8
Abeto	0.43	0.37 - 0.54	377.1
Alamo	0.37	0.27 - 0.65	376.8
Pino	0.49	0.50 - 0.86	430.7
Olmo	0.64	0.44 - 0.82	555.5
Fresno	0.65	0.41 - 0.82	564.2
Encino	0.64	0.38 - 0.90	561.1
Haya	0.66	0.54 - 0.84	554.3
Guayacan	1.23	1.20 - 1.32	1045.5

Tabla 2.5.- Densidad de algunas maderas según: W. Knigge 1958, 1960, 1961; H. Schulz 1959, 1961; L. Vorreiter 1949.(17)

La tabla 2.6 nos muestra valores de densidad normal para algunas maderas mexicanas, y la tabla 2.7 nos indica valores de densidad convencional.

M A D E R A	DENSIDAD (g/cm ³)
<i>Pinus douglasiana</i>	0.54
<i>Pinus leiophylla</i>	0.56
<i>Pinus michoacana</i>	0.53
<i>Pinus oocarpa</i>	0.58
<i>Hura poliandra</i>	0.56
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.43
<i>Cordia alliodora</i>	1.01
<i>Quercus castanea</i>	0.78
<i>Quercus candicans</i>	0.78
<i>Quercus laurina</i>	0.77
<i>Quercus rugosa</i>	0.98

Tabla 2.6.- Densidad normal de algunas maderas mexicanas (17).

Especie	Nombre Común	Densidad, en gr/cm ³
		P A y V V*
<i>Pinus douglasiana</i>	Pino blanco	0.45
<i>Pinus lawsoni</i>	Pino ortiguillo	0.51
<i>Pinus leiophylla</i>	Pino chino	0.46
<i>Pinus michoacana</i> var. <i>cornuta</i>	Pino lacio	0.45
<i>Cordia dodecandra</i>	Siricote	0.84
<i>Lyziloma bahamensis</i>	T'zalam	0.60
<i>Manilkara zapota</i>	Chicozapote	0.88
<i>Piscidia communis</i>	Jabín	0.69
<i>Pouteria campechiana</i>	Kánisté	0.76
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	Amapola cedreada	0.34
<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	Mamba	0.72
<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	Pelmax	0.76
<i>Astronium graveolens</i>	Gateado	0.76
<i>Brosimum alicastrum</i>	Ramón	0.73
<i>Bucida buceras</i>	Pukté	0.85
<i>Bursera simaruba</i>	Chaca	0.34
<i>Calophyllum brasiliense</i> var. <i>rekoi</i>	Barí	0.52
<i>Calycophyllum candidissimum</i>	Camarón	0.67
<i>Lonchocarpus castilloi</i>	Machiche	0.76
<i>Maclura tinctoria</i>	Mora amarilla	0.71
<i>Roseodendron donnell-smithii</i>	Primavera	0.39
<i>Simarouba amara</i>	Pasáak	0.40
<i>Spondias mombin</i>	Jobo	0.38
<i>Sterculia apetala</i>	Bellota	0.38
<i>Terminalia amazonia</i>	Canshán	0.60
<i>Vitex gaumeri</i>	Ya'axnik	0.54
<i>Vochysia hondurensis</i>	Maca blanca	0.37
<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	0.28
<i>Cordia alliodora</i>	Bojón	0.48
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Guanacaste	0.35
<i>Guarea glabra</i>	Cedrilla	0.52
<i>Hura Polyandra</i>	Habillo	0.38
<i>Hymenea Courbaril</i>	Cuapinol	0.75
<i>Abies religiosa</i>	Oyamel	0.38
<i>Quercus barbinervis</i>	Encino	0.71
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	0.40

*P A Peso anhidro
V V Volumen verde

Tabla 2.7.- Densidad convencional de algunas maderas mexicanas (9).

De las tablas anteriores, podemos apreciar claramente la gran variación en los valores de la densidad, tanto entre especies - como entre una misma.

A manera de regla podemos aseverar que el valor de la densidad para latifoliadas es mayor que el de coníferas; en maderas tropicales la variación es también alta, pues encontramos especies de madera blanda (Balsa), como especies de madera muy densa --- (Guayacán).

Existe un número considerable de factores que contribuyen a la variación de la densidad dentro de una misma especie. A continuación mencionaremos en forma breve algunos de los más importantes:

- Relación volumen poroso-volumen de material leñoso de la pared celular.

Se dice que existe una relación inversamente proporcional entre el volumen de poros y el volumen de material leñoso de la pared celular; es decir, que a mayor volumen de poros, la densidad de la madera será menor, y viceversa. A esta relación se debe básicamente la diferencia de densidad entre las especies, ya que el volumen de poros para cada especie es diferente.

- Influencia de la constitución macro y microscópica de la madera sobre la densidad.

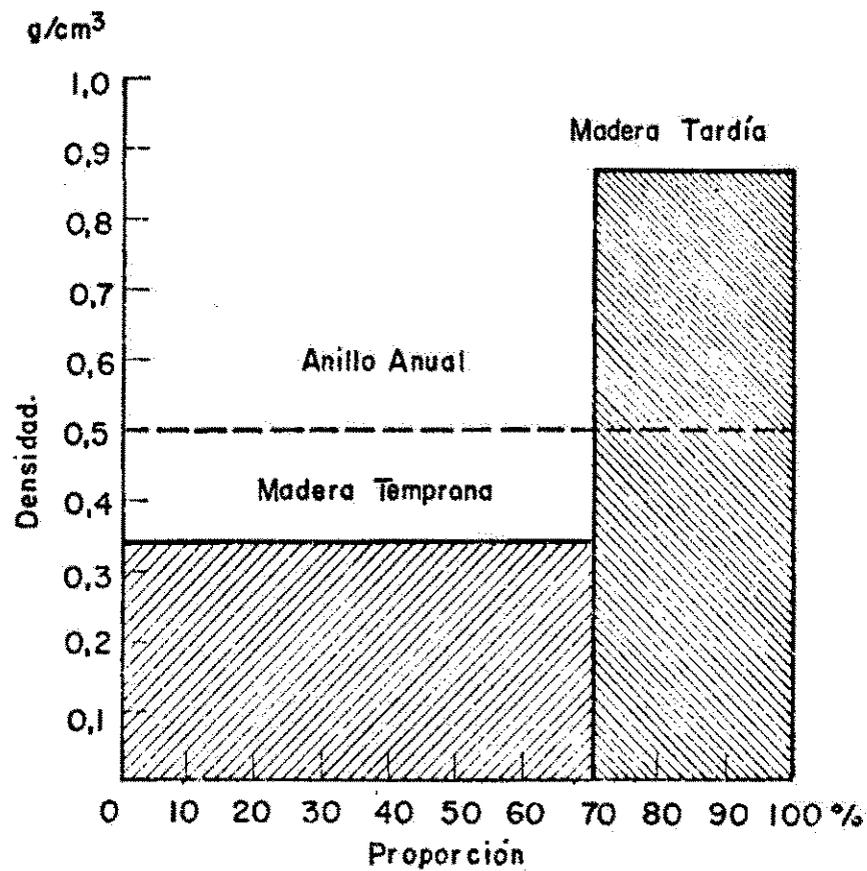
En este caso, los factores más importantes son las condiciones de crecimiento, pues de ellas depende la formación y diferenciación de las células, la constitución y estructura de las mismas, y la composición química de la madera.

Otros factores que son determinados por las condiciones del crecimiento, son la relación de la madera temprana y madera tardía en los anillos anuales de crecimiento, y el ancho de los mismos Fig. (2.5).

Estas diferencias significativas en la constitución macro y microscópica de la madera, representa una influencia clara, en mayor o menor medida sobre la densidad.

- Influencia del tipo de célula y la relación cantidad de madera temprana-madera tardía.

Como se mencionó en el párrafo anterior, en la constitución fibrosa de la madera existen diferentes tipos de células con diferentes dimensiones (largo y espesor), dependiendo de las funciones que desempeñen dentro de la estructura. Por ejemplo, los tejidos celulares gruesos y de poros angostos, son generalmente más pesados que los tejidos de pared delgada y amplio lumen.



Nach: R. Trendelenburg

Institut
für
Holzphysik

Fig.2.5. DISTRIBUCION DE DENSIDAD EN
UN ANILLO DE MADERA DE PINO.

BFA
Reinbek
2168

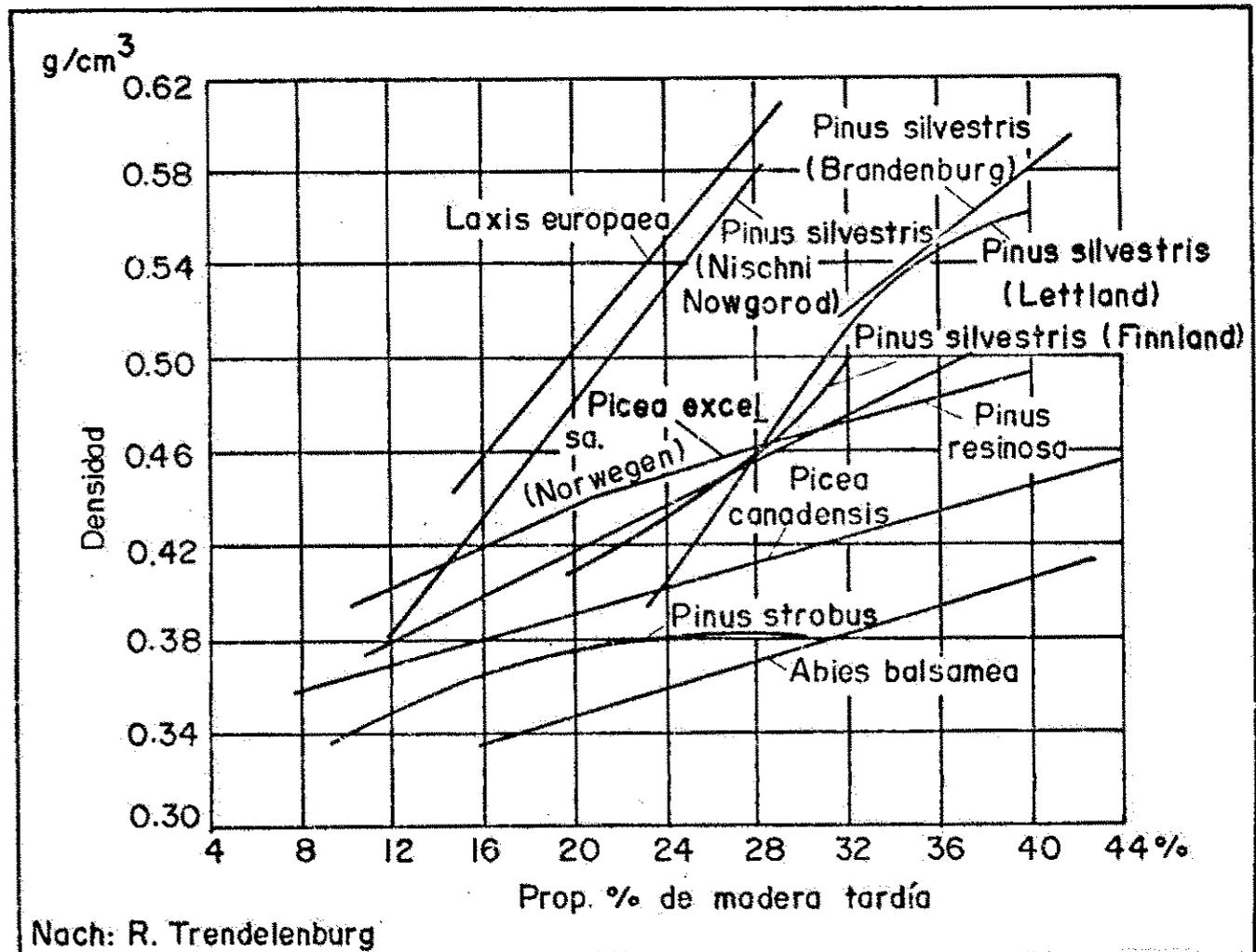
Respecto a la relación madera temprana-madera tardía, podemos decir que entre mayor sea la cantidad de madera tardía en un volumen dado, mayor será la densidad promedio de la madera. Prácticamente podemos decir que la densidad de la madera depende en mucho de la cantidad total de madera tardía.

En latifoliadas, las traqueidas de madera tardía son generalmente más pesadas que las traqueidas, vasos, y traqueidas de vasos de la madera temprana.

En coníferas, en general podemos encontrar una estrecha relación entre la cantidad de madera tardía y la densidad. Esta influencia se observa en la Fig. (2.6).

- Influencia del ancho de los anillos anuales de crecimiento.

En los anillos anuales de crecimiento encontramos precisamente la relación madera temprana-madera tardía, que como explicamos anteriormente, presenta una fuerte influencia sobre la densidad. Estas zonas nos manifiestan macroscópicamente la influencia de los diferentes tipos de células que conforman la estructura fibrosa de la madera.



Institut
für
Holzphysik

Fig. 2.6 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE
MADERA TARDIA SOBRE LA DENSIDAD.

BFA
Reinbek
2175

En coníferas, si el ancho del anillo anual sobrepasa los 2-2.5 mm, la densidad de la madera tenderá a disminuir conforme este ancho se incrementa; esto se debe a que la cantidad de madera tardía disminuye. En latifoliadas, que presentan poros anillados, al aumentarse el ancho de los anillos anuales se incrementa la cantidad de madera tardía, por consiguiente aumenta la densidad. Sin embargo, las latifoliadas que presentan poros dispersos no responden a esta relación.

Influencia de la edad del árbol.

Cuando el árbol es joven presenta altos incrementos en su crecimiento, lo cual se manifiesta en anillos anuales anchos, lo que repercute en una baja densidad en coníferas, y una alta densidad en latifoliadas.

Posteriormente, conforme el árbol envejece, los índices de crecimiento disminuyen, trayendo como consecuencia que los anillos anuales sean más angostos. Este hecho para coníferas repercute en un aumento de densidad, mientras que en latifoliadas disminuye. Se puede decir que esa es la razón por la cual la densidad de la madera aumenta del centro a la periferia en coníferas, y en forma inversa en latifoliadas.

Se considera que un árbol de edad su-

perior a los 100 años, pierde esta relación de anillos anuales de crecimiento-peso de la madera.

- Influencia de la lignificación (petrificación).

A medida que pasa el tiempo, las células del duramen van sistemáticamente reduciendo su funcionalidad, hasta llegar a una etapa en que pierden totalmente su actividad fisiológica. Al ocurrir ésto, las sustancias que circulaban por esas células quedan virtualmente atrapadas, almacenadas en esta zona del árbol; este fenómeno es conocido como lignificación o petrificación del duramen, lo que ocasiona un incremento en la densidad.

Gracias a esta circunstancia podemos ver que existe, tanto en coníferas como en latifoliadas, diferencias de peso entre el duramen y la albura de algunas especies, que dependen del grado de lignificación del duramen, lo que a su vez depende del número de células muertas y del contenido de sustancias que posee la madera y que hayan quedado incrustadas.

- Influencia de nudos, raíces y madera de reacción.

Tanto en coníferas como en latifoliadas, la madera de nudos y zonas adyacentes es más pesada que la madera normal.

La raíz, por sus funciones específicas de conducción, ofrece una constitución diferente que la hace más ligera que la madera normal, lo que se acentúa entre más ramificada sea la raíz, es decir, cuanto más distante esté del fuste y más delgada sea, será notablemente más ligera.

Por su parte, la madera de reacción, que se presenta no sólo en los nudos y sus alrededores, sino a través del fuste como madera de tensión o de compresión, posee un peso más elevado que la madera normal. Esto es general para coníferas y latifoliadas.

- Influencia del contenido de humedad.

De acuerdo a la figura (2.7), se puede observar la relación entre contenido de humedad y densidad (26), y deducir lo siguiente:

- ° Que el peso total de la madera se incrementa al aumentar el C.H. Este incremento en peso es, sobre todo muy claro, para maderas cuya densidad es menor a 1.1 g/cm^3 .
- ° El peso de la madera en especies de densidad mayor a 1.1 g/cm^3 , disminuye al incrementarse su C.H.; esto se cumple mientras no sea alcanzado el punto de saturación de la fibra; una vez superado el P.S.F., el peso de la madera se incrementa nuevamente.

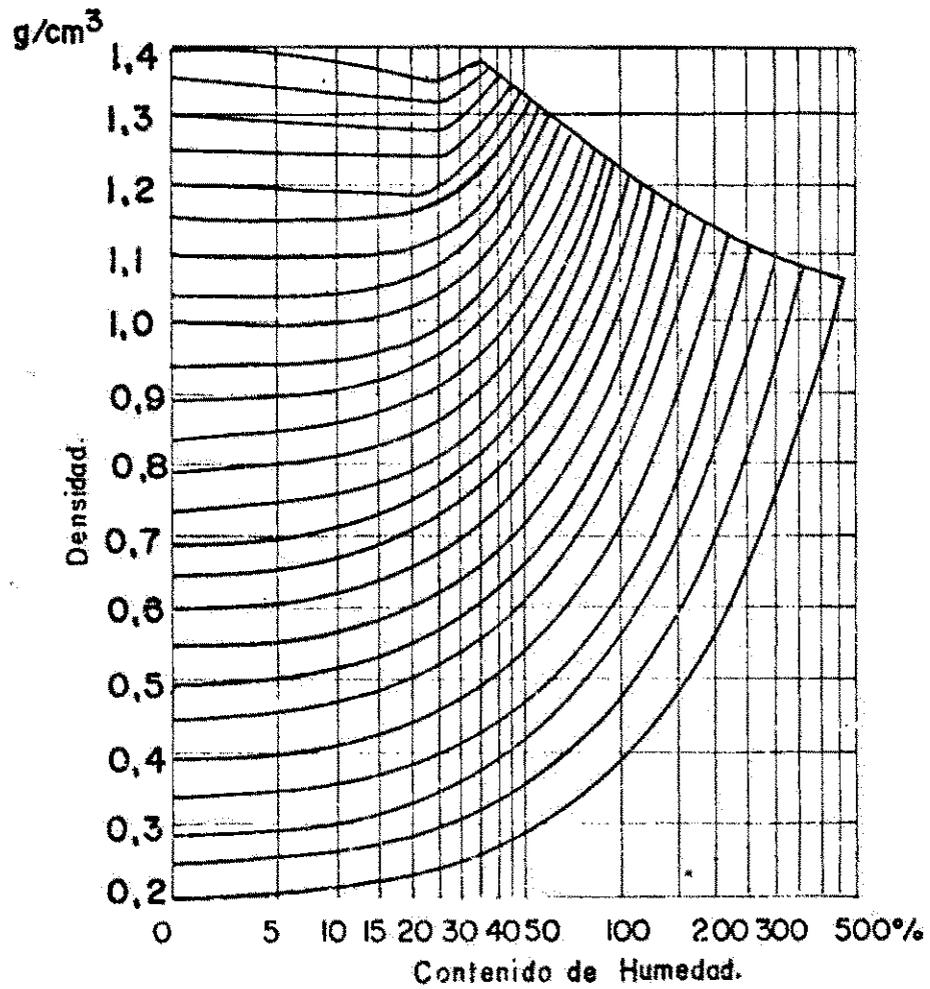


Fig. 2.7 DETERMINACION
DE LA HUMEDAD.

BFA
Reinbec
2224

- Distribución de la densidad en el fuste.

Debido a las múltiples relaciones entre la constitución macro y microscópica de la madera y su peso, existe una distribución específica de la densidad dentro del fuste de especies individuales de árboles, lo que significa que hay marcadas diferencias entre médula y corteza, entre la base del tronco y la copa. Con frecuencia se observan características típicas para determinados árboles, las cuales se manifiestan casi a manera de regla.

- Densidad en dirección transversal del tronco.

La densidad, en el caso de las coníferas, incrementa generalmente del centro a la periferia del fuste. Esto se da como consecuencia del ancho de los anillos anuales de crecimiento, y del correspondiente aumento de la proporción de madera tardía en cada anillo, así como por efecto de la edad del árbol sobre la densidad.

Sólo en algunos casos, que muestran troncos con crecimiento retardado, se aprecia la médula circundada por una zona de madera pesada, luego una ligera, y finalmente otra de densidad elevada.

En latifoliadas de poros circulares, se da el caso inverso al de coníferas; aquí se encuentra el peso máximo de la madera en la zona medular.

Las latifoliadas de poros dispersos no presentan diferencias notables de densidad, ya que no existe gran variabilidad de peso entre los anillos anuales de crecimiento.

Algunas especies presentan una diferencia acentuada entre el peso del duramen y el de la albura, debido al alto grado de lignificación del duramen.

Densidad en dirección longitudinal del tronco.

En coníferas, hay una clara disminución del peso de la madera en la zona comprendida entre el tocón y la mitad de la altura del fuste. Esta disminución es debida al ancho de los anillos de crecimiento, a la edad del árbol y al contenido de "madera joven".

En latifoliadas de poros difusos, el peso de la madera a lo largo del fuste es alternante; generalmente hay una disminución de peso, partiendo del tocón hasta cierta altura, y al acercarse a la copa se incrementa de nuevo.

Para finalizar el tema de la densidad,

se presenta una tabla de clasificación de la madera según su densidad.

Clase	Coníferas	Latifoliadas
Muy ligera	0.40	0.50
Ligera	0.40 a 0.49	0.50 a 0.64
Semipesada	0.50 a 0.59	0.65 a 0.79
Pesada	0.60 a 0.70	0.80 a 0.95
Muy pesada	a 0.70	a 0.95

Tabla 2.8.- Clasificación de la madera según su densidad en g/cm^3 al 12% C.H.

2.3.1.5 Propiedades térmicas de la madera.

Las principales propiedades térmicas a considerar en la madera, o sea, su comportamiento frente a la influencia de la temperatura son:

- Dilatación térmica (α).
- Conductividad térmica (λ).

Dilatación térmica.

Es una medida del cambio de dimensiones (volumen), de la madera por una variación en la temperatura. El cambio se determina en un cuerpo de 1 m de largo, refiriendo el aumento de su volumen al incremento en 1°C de su temperatura.

La madera reacciona básicamente igual que otros materiales que se expanden con el calor y se contraen con el frío; sin embargo, contracción y dilatación ocurriendo simultáneamente pueden interferir los cambios dimensionales debidos al calor.

El principio de dilatación de un cuerpo -- por efecto del calor radica en la debilitación de las fuerzas internas de cohesión y por tanto, en el distanciamiento entre moléculas. En caso de enfriamiento ocurre el proceso contrario.

La dilatación se expresa generalmente por el coeficiente de dilatación lineal térmica (α). El significado del bajo coeficiente de dilatación térmica de la madera, adquiere su máxima importancia cuando la madera es expuesta al fuego (caso de incendios), en que piezas como vigas y otros elementos estructurales, apenas muestran cambios dimensionales.

Algunos factores que influyen sobre la dilatación térmica de la madera son:

Anisotropía: El coeficiente de dilatación térmica es diferente para cada uno de los ejes principales de la madera. En los siguientes datos se pueden ver algunos valores para las direcciones longitudinal, radial y tangencial.

$$\alpha W_L = 2.5 \text{ a } 11 \times 10^{-6}$$

$$\alpha W_R = 15 \text{ a } 35 \times 10^{-6}$$

$$\alpha W_T = 24 \text{ a } 75 \times 10^{-6}$$

Densidad: En las direcciones tangencial - y radial, la dilatación térmica es directamente proporcional a la densidad de la madera. En dirección longitudinal no existe ninguna influencia.

Especie: Las maderas más pesadas presentan un mayor coeficiente de dilatación térmica que las maderas ligeras. Sin embargo, existe alta variación tanto dentro de una misma especie como entre especies.

Contenido de humedad: En una madera totalmente seca, la dilatación en dirección longitudinal es independiente tanto de la especie como de la densidad. La dilatación en las direcciones radial y tangencial es considerablemente mayor y sí depende de la densidad. A su vez, las tangenciales suelen ser algo mayores que las radiales.

Cuando la madera está húmeda, su comportamiento ante los cambios de temperatura es diferente del que exhibe cuando está seca. Al ser calentada, la madera húmeda sufre una dilatación por efecto de dilatación térmica normal, al mismo que tiende a contraerse por la pérdida de humedad al secarse las paredes de las células. Para los contenidos de humedad usuales en la práctica, los cambios dimensionales causados por variaciones de humedad son de mayor magnitud que los térmicos, por lo que éstos no suelen tomarse en cuenta.

Conductividad térmica.

Es una medida de la rapidez con la que fluye la energía térmica (Q) en Kcal., a través de un cubo de 1 m^3 entre dos de sus superficies opuestas en un tiempo de una hora (t) existiendo una diferencia de temperatura de 1°C entre las dos superficies.

La conductividad de la madera es considerablemente menor que la de la mayoría de los demás materiales de construcción. La del acero por ejemplo, es, en promedio 400 veces mayor, y la del concreto 10 veces mayor. Por ello la madera es muy apreciada como material aislante de calor.

Algunos de los factores que influyen sobre la conductividad térmica de la madera son:

Anisotropía: La conductividad de la madera varía según la dirección de sus ejes principales. En la dirección radial es sólo ligeramente mayor que la tangencial, mientras que en la dirección longitudinal es del orden de hasta dos veces mayor que en las direcciones transversales. Se explica esto porque en la dirección longitudinal el calor puede fluir en forma continua a lo largo de las paredes de las células, mientras que en las direcciones transversales, el aire en los huecos intercelulares, por su baja conductividad actúa como una especie de barrera.

$$\lambda_L = 0.1908 - 0.2844 \text{ Kcal/m-h-}^\circ\text{C}$$

$$\lambda_R = 0.1044 - 0.1512 \text{ Kcal/m-h-}^\circ\text{C}$$

$$\lambda_T = 0.0900 - 0.1404 \text{ Kcal/m-h-}^\circ\text{C}$$

Densidad: Las maderas ligeras tienen menor conductividad que las densas. Esto se explica por la mayor porosidad de las maderas de baja densidad, ya que la conductividad del aire incluido entre los huecos intercelulares es aún menor que la del material leñoso. Este fenómeno se ilustra en la Fig. (2.8).

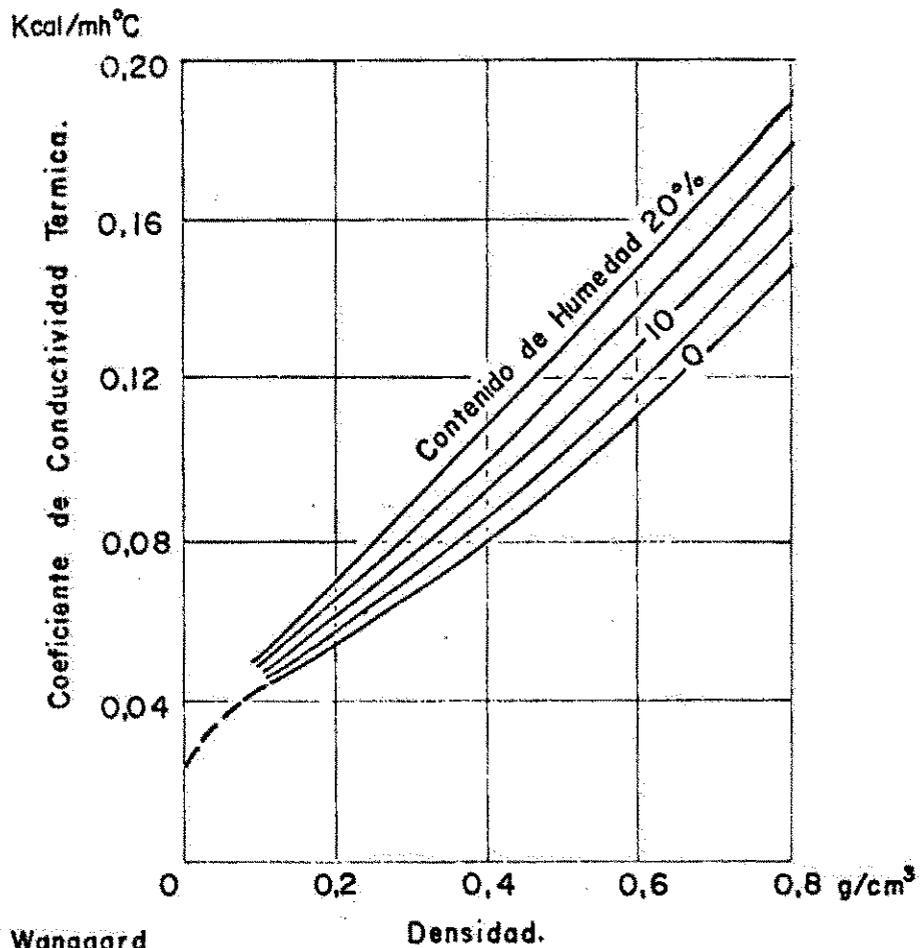
Contenido de humedad: La conductividad aumenta con el contenido de humedad, puesto que el agua que ocupa los espacios intercelulares es mejor conductor que el aire.

Se sabe que desde un estado completamente anhidro hasta el punto de saturación de la fibra, la conductividad se incrementa aproximadamente en un 1.25% por cada 1% que aumente el contenido de humedad.

La tabla siguiente muestra claramente la capacidad aislante de la madera respecto a otros materiales de construcción.

Material	Coefficiente de Conductividad Térmica (Kcal/m-h-°C)
Aluminio	1,400
Hierro	330
Marmol	18
Ladrillo	4.5
Vidrio	4.5
Cemento	2.0
Arena	0.5
Plástico	1.0
Madera	0.09 - 0.28
Agua	4.0

Tabla 2.9.- Coeficientes de conductividad térmica de varios materiales.



Nach: F.F. Wangaard

Fig.2.8 INFLUENCIA DE LA DENSIDAD SOBRE EL COEFICIENTE DE CONDUCT. TERMICA.

Reinbek
2272

El término resistencia al paso del calor - expresa la capacidad de los materiales a - evitar el paso del calor, y está dado por el valor recíproco del coeficiente de conductividad térmica. Para la madera, éste valor es relativamente alto, por lo que se le prefiere en la construcción de pisos, - techos, paredes, casas prefabricadas, y en un gran número de usos más.

2.3.1.6 Propiedades eléctricas.

La madera es un excelente aislante de la - corriente eléctrica cuando está totalmente seca. Sin embargo, se convierte en un conductor cuando se encuentra en estado húme- do. El grado de conductividad está rela- cionado con el contenido de humedad, pro- piedad en que están basados los medidores de humedad. Además del contenido de hume- dad, influyen en la conductividad de la ma- dera, la densidad y la especie.

2.3.1.7 Propiedades acústicas.

Las propiedades acústicas de la madera de - mayor interés en sus aplicaciones, son el aislamiento y la absorción de sonido. La primera se refiere a la reducción de la intensidad del sonido cuando pasa a través - de una barrera, y la segunda, a la canti- dad de sonido sobre una superficie que es absorbido por ella.

Aislamiento del sonido: Los valores de --
aislamiento del sonido se miden en decibe-
les. Dependen de la intensidad inicial --
del sonido producido en la cara opuesta de
una barrera y de la masa y rigidez de ésta.
La madera por sí sola no constituye una --
buena barrera contra el sonido, pero cuan-
do se combina con diversos elementos, se -
puede obtener una buena estructura con pro-
piedades de aislamiento satisfactorios.

Absorción del sonido: Un material con bue-
nas características de absorción de sonido
debe ser blando y poroso, al contrario que
los materiales aislantes, que deben ser --
densos. La absorción de sonido de la made-
ra es relativamente alta comparada con la
de materiales como el acero o la piedra.

2.3.2 Propiedades Mecánicas de la Madera.

Las propiedades mecánicas de la madera caracterizan
su comportamiento frente a fuerzas externas, parti-
cularmente la fuerza de resistencia que opone la ma-
dera a un cambio de forma y separación.

Este comportamiento está definido según la magnitud,
tipo y tiempo de la acción de la fuerza, la cual --
puede aplicarse principalmente como flexión, compre-
sión, tensión y torción.

En algunas ocasiones, ésta fuerza puede ser aplica-
da de las siguientes formas:

- a.- En forma de golpe, es decir, dinámicamente,
tal es el caso del impacto.

- b.- Incrementándose en forma paulatina y constante, o sea, estáticamente.
- c.- En forma intermitente, lo que se conoce como ciclos.

Además se puede decir que el comportamiento mecánico de la madera es influenciado por los siguientes factores:

- Tamaño y cantidad de la superficie de carga en la sección transversal de la probeta de ensayo.
- Defectos de la madera.
- Angulo de aplicación de la carga.

La madera, en comparación con otros materiales, presenta un comportamiento mecánico muy diferente a consecuencia de su heterogeneidad y anisotropía. Por tal motivo, se considera difícil hacer predicciones numéricas o de resultados de ensayos como se acostumbra en metales u otros cuerpos sólidos; prácticamente es imposible.

Para conocer el comportamiento mecánico de la madera es necesario realizar investigaciones que nos muestren las relaciones que existen entre el tipo de fuerza que se aplica y la reacción o respuesta de ésta. Para llevar a cabo este tipo de ensayos, se necesita utilizar los diferentes métodos que para estos fines se ocupan. Entre los más conocidos tenemos:

- Normas ASTM
- Normas DIN
- Normas ISO
- Normas COPANT

Desde luego, aparte de conocer la metodología de en sayo, se requiere equipo especializado de pruebas, como es el caso de la máquina universal de ensayos físico-mecánicos, la cual debe reunir los siguientes requisitos:

- Generar la fuerza necesaria para el ensayo del material.
- Medición de la fuerza aplicada sobre la probeta.
- Seguimiento o registro del cambio de forma de la probeta de ensayo, por el cambio de fuerza aplicada.

En lo que respecta a la fuerza aplicada en forma di námica o permanente bajo cierto intervalo de tiempo, se requiere de otro equipo más especializado o de mecanismos adaptables a la máquina universal.

Las resistencias mecánicas de la madera se consideran que presentan una variación incluso mayor que las mismas propiedades físicas. Esto desde luego, va a depender de qué tan significativos sean los de defectos que se encuentren en la madera. He aquí la importancia de realizar los ensayos bajo normas de pruebas reconocidas internacionalmente, donde se especifican claramente que las probetas de ensayos deben estar libres de defectos, lográndose con esto una menor variación en los resultados.

Se puede decir que conocer el comportamiento mecánico de la madera puede servir como guía para definir sus usos más apropiados, sobre todo pensando en la relación tan favorable que presenta entre su peso y su resistencia. Dependiendo del uso, será también

la importancia de la propiedad a investigar. Así - por ejemplo, cuando se trata de artículos deportivos, aviones, instrumentos musicales y partes para la construcción de maquinarias, es importante conocer las propiedades elásticas, puesto que de ellas dependerá la funcionalidad de este material en tales campos.

Por otra parte, cuando se quiere utilizar la madera en los ramos de la construcción, se requiere del conocimiento de sus propiedades de resistencia, dureza, y resistencia al desgaste.

2.3.2.1 Propiedades elásticas.

Cabe definir primeramente lo que se entiende por el término elasticidad. Como tal, se define la capacidad que tiene un cuerpo de recuperar su forma inicial después de retirársele la fuerza que modificó su estado original. Se considera que entre más elástico es un material, más fácilmente se deja "deformar" sin que se presente cambios permanentes, es decir, regresa a su estado inicial al retirar la fuerza que lo deformó.

El comportamiento elástico de la madera y otros cuerpos, tiene su relación entre los dos siguientes factores:

- Elongación (E), o sea, la relación del aumento de largo respecto al largo inicial.
- Fuerza (σ), o sea, el esfuerzo por unidad de área.

Para casi todos los cuerpos sólidos existe una relación entre la elongación y la fuerza, es decir, tanto la elongación y la fuerza se modifican en forma proporcional una con la otra en el sentido de la ley de Hooke.

$$E = \alpha \cdot \sigma$$

Significa esto que la elongación aumenta hasta cierto límite en forma proporcional a la fuerza que lo produce. Este límite es conocido como límite de proporcionalidad (σ_p), y cuando la fuerza se aplica más allá, resultan cambios de forma permanente, manifestados como arqueamiento o ruptura.

Los cambios de forma comprendidos dentro del límite de proporcionalidad, se denominan elásticos, y los que sobrepasan éste límite se denominan semiplásticos o plásticos.

La madera posee una capacidad de elongación ligeramente alta. Cuando rebasa el límite de proporcionalidad, se presenta en las uniones de las fibras un proceso primero de deslizamiento y posteriormente de rompimiento; ambos son irreversibles.

En la figura (2.9) se observa el diagrama de elongación contra fuerza en un ensayo de flexión estática, que muestra el campo elástico, el límite de proporcionalidad, el campo semiplástico y plástico, y la fuerza de ruptura.

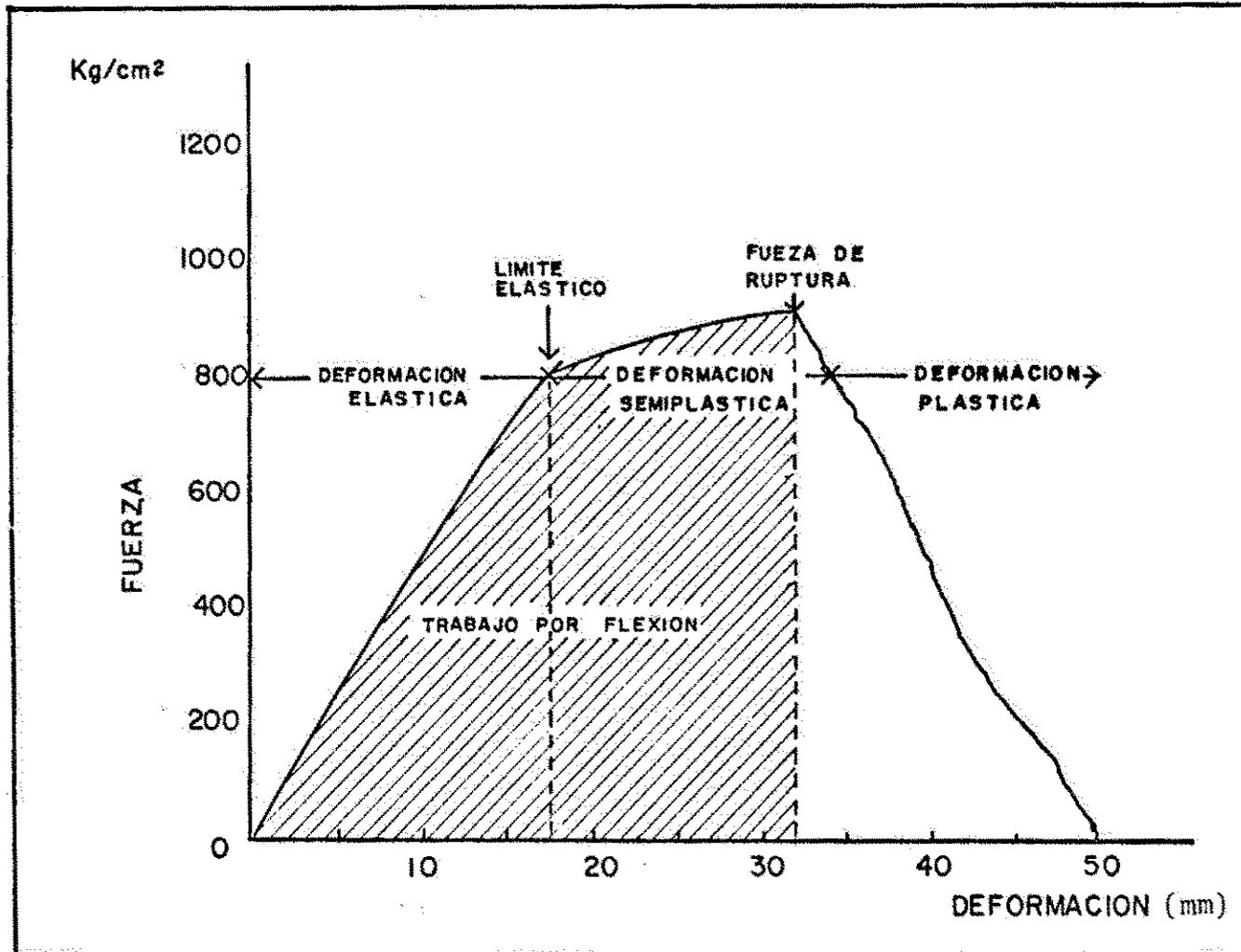


Fig. 2.9 DIAGRAMA DE ELONGACION-FUERZA
EN ENSAYO DE FLEXION. (9)

El comportamiento elástico se expresa como módulo de elasticidad, dado por la recíproca del coeficiente de elongación (α). Este coeficiente de elongación expresa la relación del cambio de longitud (ΔL), de una barra de 1 cm de largo a una fuerza determinada.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L\sigma} \text{ cm}^2/\text{Kp}$$

El módulo de elasticidad define en forma teórica la fuerza que sería necesaria para hacer posible que una barra de prueba se alargara hasta el doble de su longitud inicial. Puede ser determinado tanto por medio de un ensayo estático, como también dinámico, aunque es muy común determinarlo en forma estática por medio de un ensayo de flexión.

En maderas de diferentes especies se encuentran valores para el módulo de elasticidad que van desde 70,000 hasta 170,000 Kg/cm². La siguiente tabla permite establecer comparaciones de este factor con otros materiales.

Material	Módulo de Elasticidad Kg/cm ²
Caucho	10
Cuero	2 500
Aluminio	700 000
Vidrio	700 000
Cobre	1 000 000
Acero	2 000 000

Tabla 2.10.- Módulo de elasticidad de varios materiales de construcción.

El módulo de elasticidad de la madera se ve afectado por los siguientes factores:

- Contenido de humedad, en que se da una relación inversa. Por cada 1% de aumento en el contenido de humedad, el módulo de elasticidad disminuye aproximadamente en 2% Fig. (2.10).
- Densidad de la madera, que se relaciona de forma directa.
- Dirección de la fibra; en sentido longitudinal es mayor, seguido de las direcciones radial y tangencial.
- Temperatura de la madera, que guarda una relación inversa. El valor del módulo de elasticidad disminuye conforme aumenta la temperatura, hasta alcanzar un valor mínimo cuando la temperatura oscila entre 50-60° C.

2.3.2.2 Propiedades de resistencia.

Resistencia equivale a la fuerza necesaria para provocar el rompimiento de una probeta de ensayo, luego de sobrepasar el límite de proporcionalidad.

La determinación de la resistencia de la madera sirve para definir las posibilidades y límites de su utilización. Las resistencias más importantes a caracterizar, y que se determinan en el presente trabajo son:

- Resistencia a la flexión tangencial a

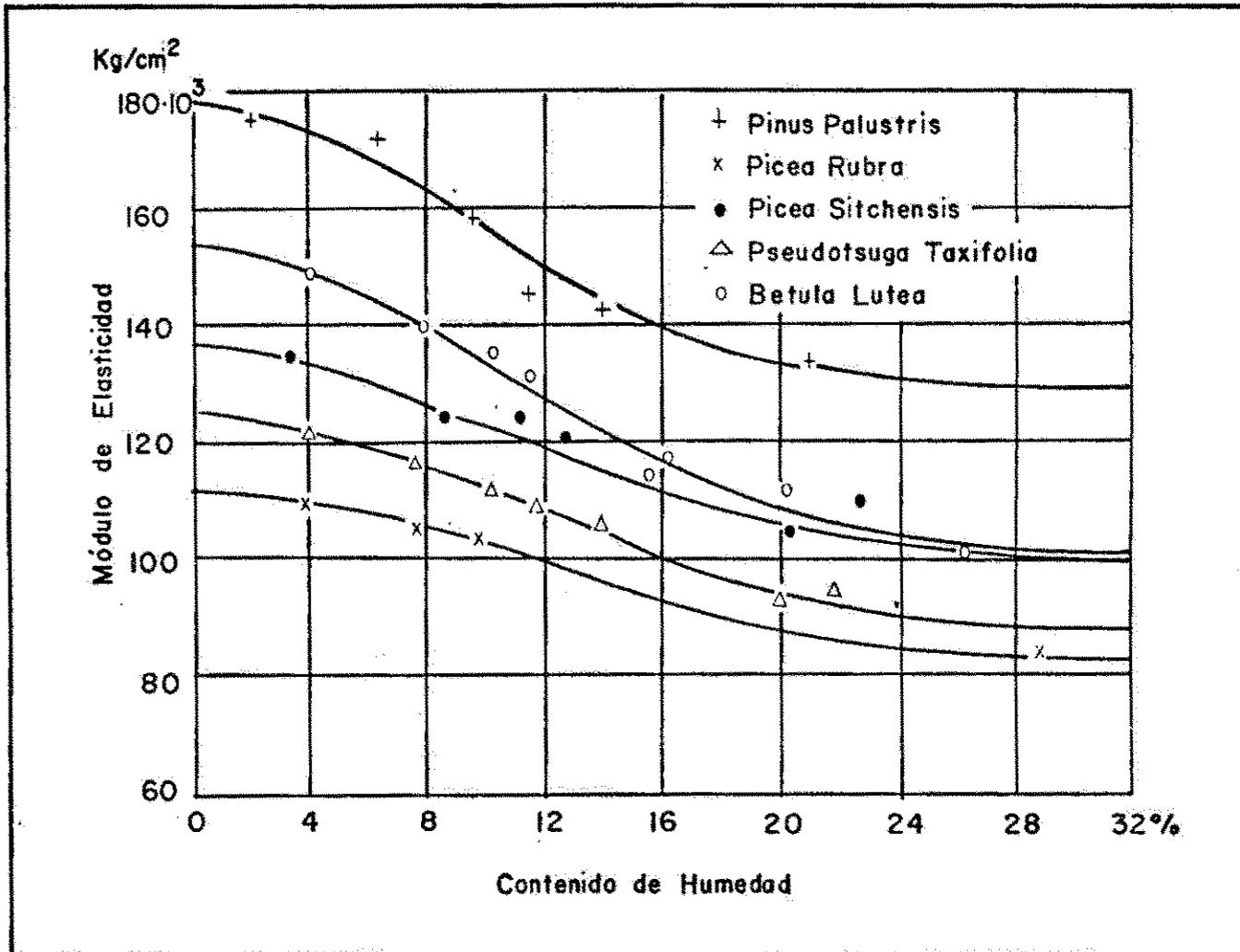


Fig.2.10 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD SOBRE EL MODULO DE ELASTICIDAD EN ENSAYO DE FLEXION.

Reinbek
2265

los anillos de crecimiento.

- Resistencia a la compresión longitudinal.
- Resistencia a la tensión longitudinal.

Las Figs. (2.11) (2.12) muestran factores de mayor influencia sobre las pruebas de resistencia.

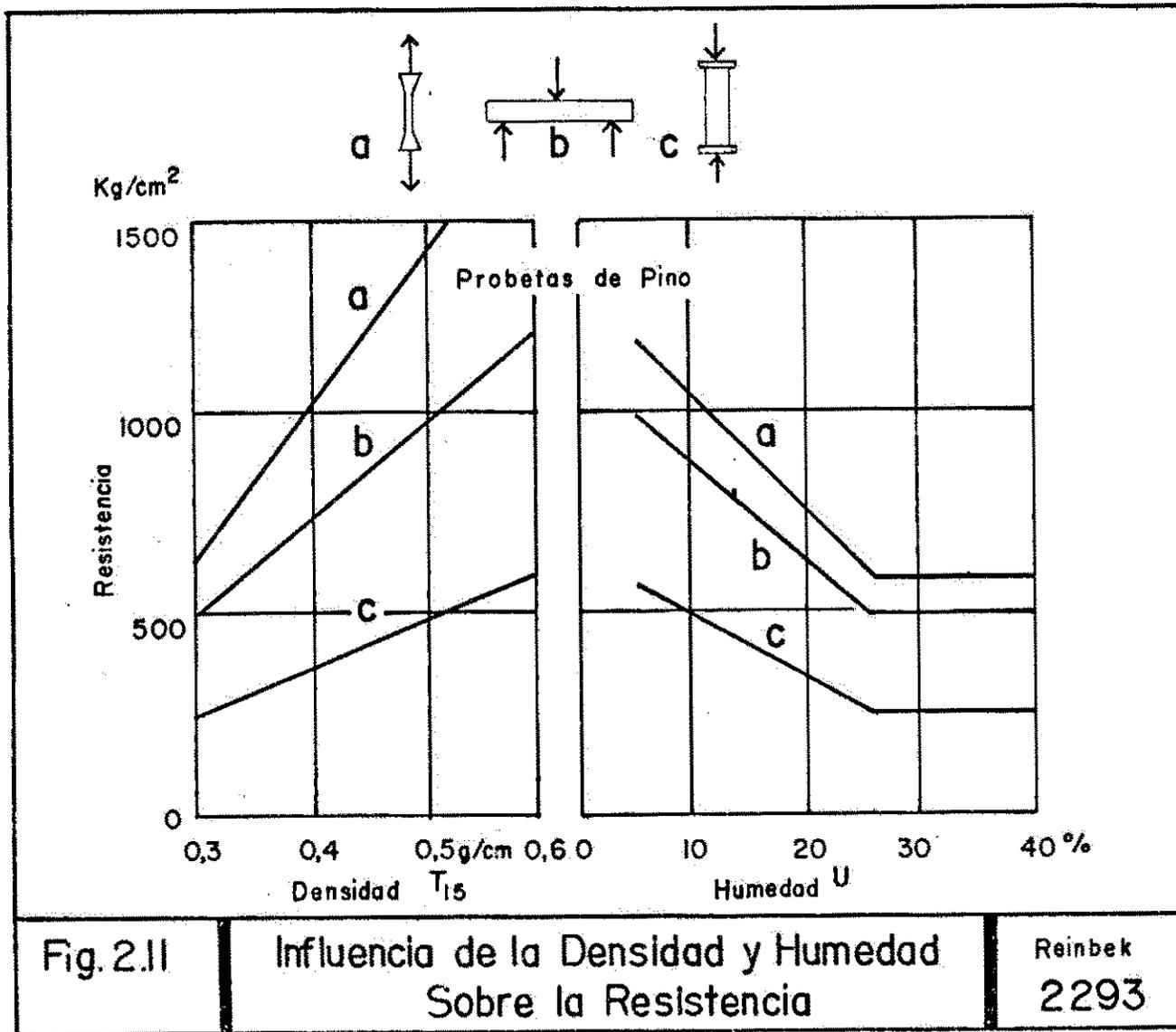
Resistencia a la flexión.

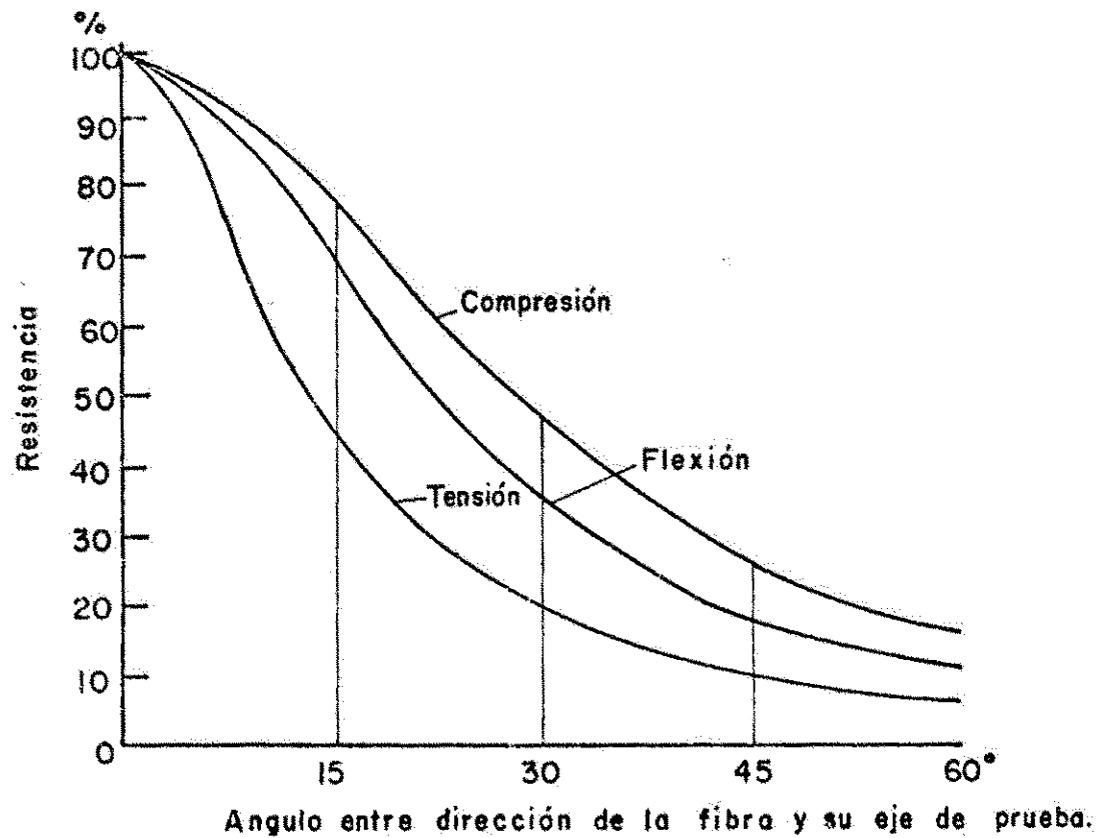
La resistencia de la madera a la flexión, se considera la más importante de las resistencias estáticas desde el punto de vista de su utilización, pues en la mayoría de los casos la madera de construcción está sometida a éste tipo de esfuerzo.

La resistencia a la flexión se visualiza como la resultante de dos esfuerzos; uno de compresión sobre el lado donde se aplica la fuerza, y otro de tensión por el lado opuesto al primero. En la ruptura que presenta la probeta, éstos esfuerzos se reconocen fácilmente.

Entre ambos esfuerzos (compresión-tensión), existe una zona muy angosta denominada zona neutral o línea cero, en la cual no se manifiesta ninguno de los dos esfuerzos referidos.

Es preciso sí señalar que debido a la resistencia de la probeta y al comportamiento reológico de la madera, la mayor parte





Nach: Baumann

Fig. 2.12 RESISTENCIA Y DIRECCION DE LA FIBRA. INFLUENCIA DEL ANGULO DE PRUEBA RESP. A LAS RESISTENCIAS DE LA MADERA.

Reinbek
2259

de los esfuerzos que se manifiestan en un ensayo de flexión corresponden a los de tensión. Es decir, la resistencia no se ubica en un término medio entre tensión y compresión, sino que se acerca más a los límites de resistencia a la tensión.

El ensayo de flexión en madera se realiza perpendicular a la fibra y tangencial a los anillos de crecimiento. La figura (2.13) presenta una gráfica carga-deformación de una muestra de pino. El límite de proporcionalidad está bien marcado, y una vez que se llega a la carga máxima, la muestra se sigue deformando paulatinamente conforme la carga disminuye, o sea, que generalmente en flexión estática la fractura total en la madera no es instantánea sino que se desarrolla poco a poco.

La resistencia en flexión de la madera es menor que la de los metales, pero mucho mayor que otros materiales no metálicos, pues presenta una alta elasticidad; la relación peso-resistencia es muy favorable, y una elongación limitada entre el límite elástico y ruptura.

Resistencia a la compresión longitudinal.

Representa la resistencia que opone un cuerpo a ser aplastado por dos fuerzas de compresión que actúan sobre él. En madera, la máxima resistencia a la compresión se manifiesta en dirección longitudinal, seguida de la radial y la tangencial.

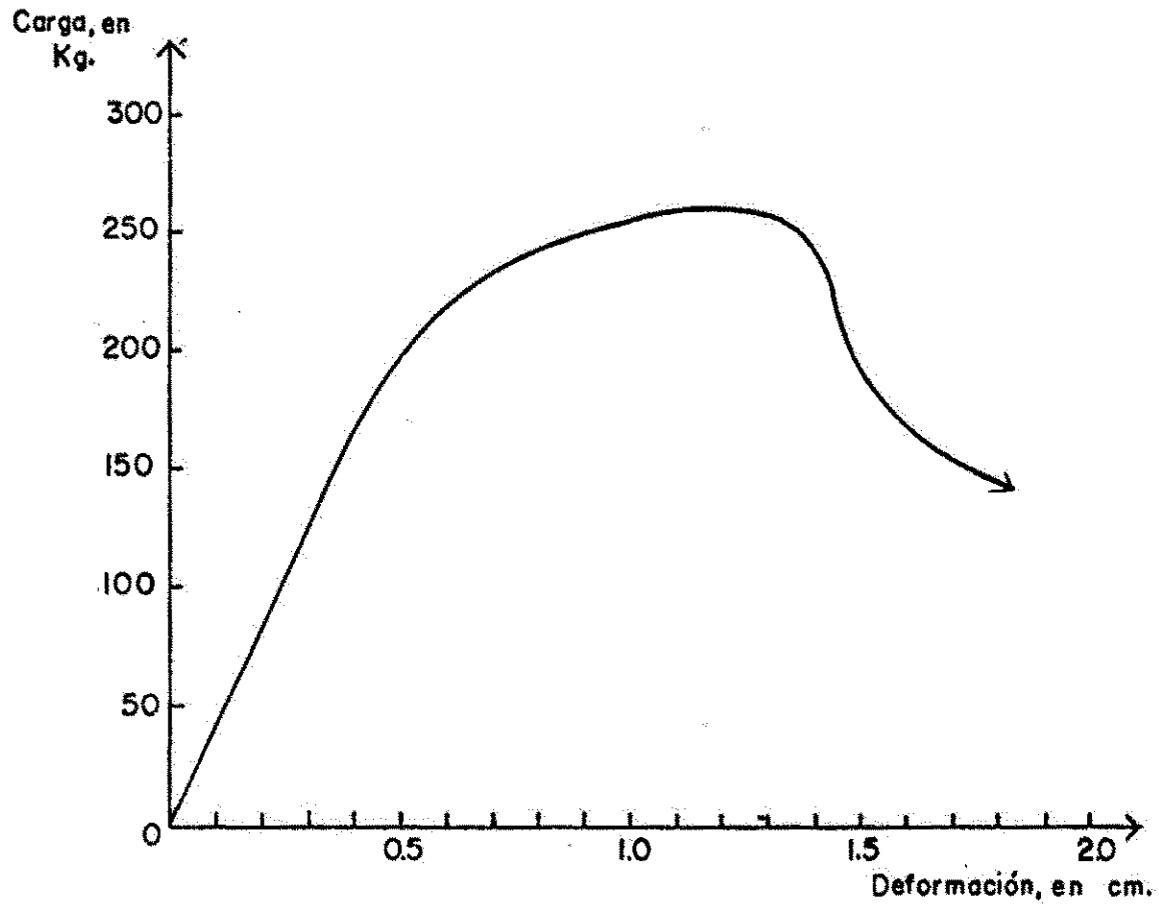


Fig. 2.13 GRAFICA CARGA-DEFORMACION DE UNA PROBETA DE PINO ENSAYADO EN FLEXION ESTATICA. (9)

Los valores de resistencia a la compresión dependen de la forma en que se aplique la carga, que puede ser de las siguientes maneras:

- Esfuerzo de compresión sobre toda el área de la sección transversal de la probeta.
- Esfuerzo de compresión en que la zona sometida al esfuerzo se encuentra entre dos zonas libres de esfuerzo.
- Esfuerzo de compresión donde sólo la zona central de la probeta soporta la carga aplicada.

En la Fig. (2.14) se presenta una gráfica esfuerzo-deformación de una probeta ensayada en compresión paralela a las fibras. El límite de proporcionalidad está bien definido y la porción plástica de la curva es grande, en comparación con la gráfica de tensión que se presentará posteriormente.

Por lo general, el esfuerzo al límite de proporcionalidad es de 75% del esfuerzo al momento de la ruptura para madera de latifoliadas, y de 30% para madera de coníferas (56).

Resistencia a la tensión longitudinal.

Es la resistencia que opone un cuerpo a ser deformado por la acción de dos fuerzas de tracción que actúan simultáneamente so-

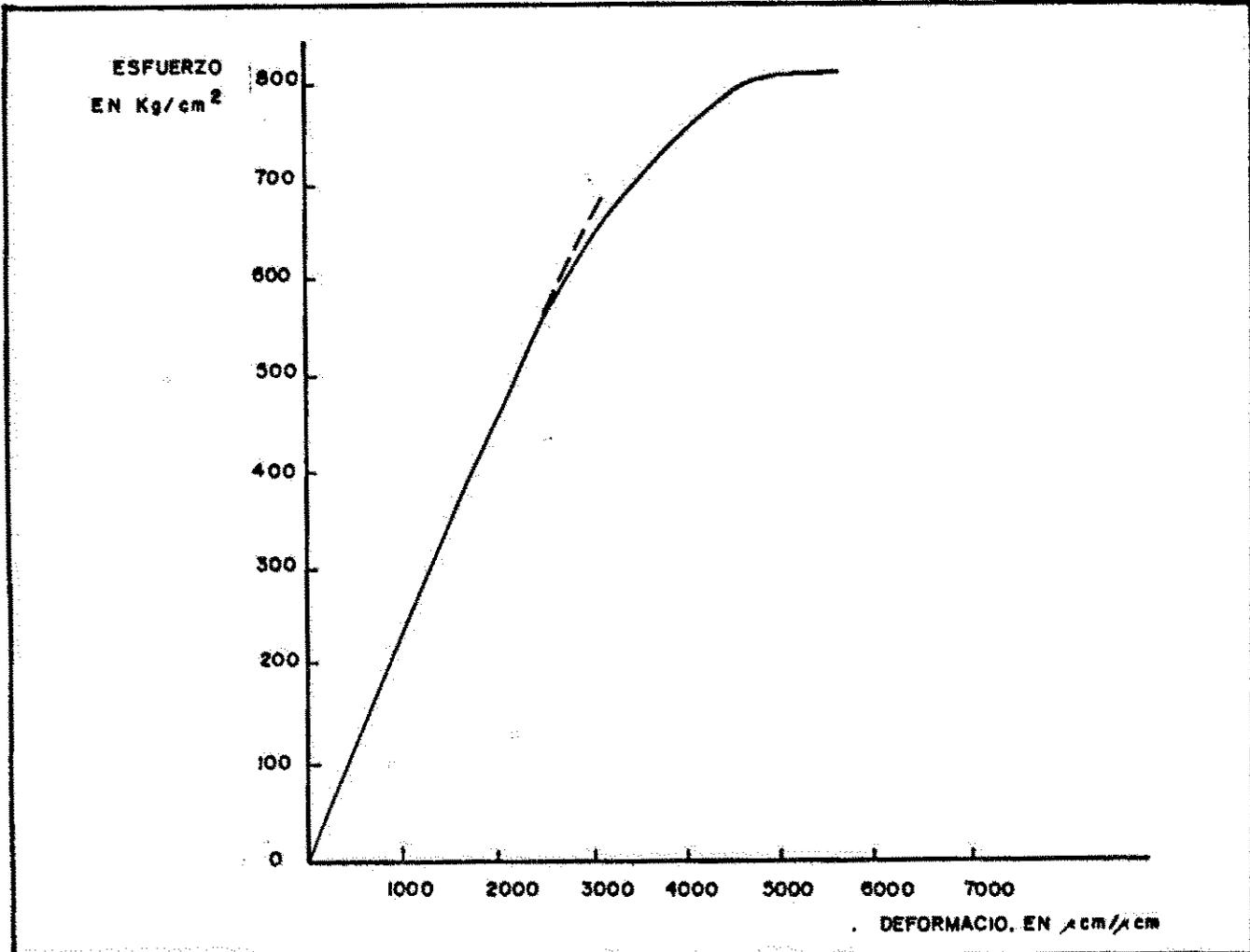


Fig. 2.14 GRAFICA ESFUERZO- DEFORMACION DE UNA PROBETA ENSAYADA EN COM PRESION II , DE ENTEROLOBIUM. (9)

bre él en sentido opuesto. En madera, es la más alta de todas las resistencias.

Entre los factores que influyen sobre la magnitud de esta resistencia, están: la densidad, que actúa en una relación directa; el contenido de humedad, ángulo de esfuerzo respecto al eje de la madera, y la temperatura, que actúan todos en relación inversa; la anisotropía, factor que determina que la resistencia longitudinal puede ser hasta 10 veces mayor que en sentido transversal.

Si se relaciona el valor de resistencia a la tensión con el peso de un material, se obtiene lo que Galileo llamó Largo de Ruptura (M), que se define como el largo imaginario que sería necesario para que un material, sostenido por uno de sus extremos, se rompa por su propio peso.

$$M = \frac{RT}{\gamma_0}$$

M : Largo de ruptura

RT : Resistencia a la tensión

γ_0 : Densidad anhidro

Como ejemplo de ésta propiedad, se muestra la siguiente tabla en que se dan los valores de algunos materiales para el largo de ruptura.

Material	Largo de Ruptura Km
Acero	5.4
Acero-Cromo-Molibdeno	6.8
Aluminio	13.6
Acero Endurecido	17.5
Madera	15 - 30

Tabla 2.11.- Valores de largo de ruptura para algunos materiales.

En la figura (2.15) se presenta un diagrama de carga-deformación de una muestra de madera en tensión paralela a las fibras. Es interesante notar que la deformación es proporcional a la carga prácticamente hasta la carga máxima, y que el límite de proporcionalidad no está bien definido. La madera tiene una deformación plástica mínima cuando, sujeta a esfuerzos de tensión paralela a las fibras.

2.4 Química de la Madera.

La madera es una mezcla compleja, cuyos componentes se pueden clasificar según su porcentaje y distribución en: primarios o estructurales, y secundarios o extraños.

La composición elemental de la madera es idéntica en las diferentes especies leñosas, así como también dentro de un mismo árbol en sus diversas partes (troncos, ramas). Todas las maderas contienen aproximadamente un 50% de Carbono y

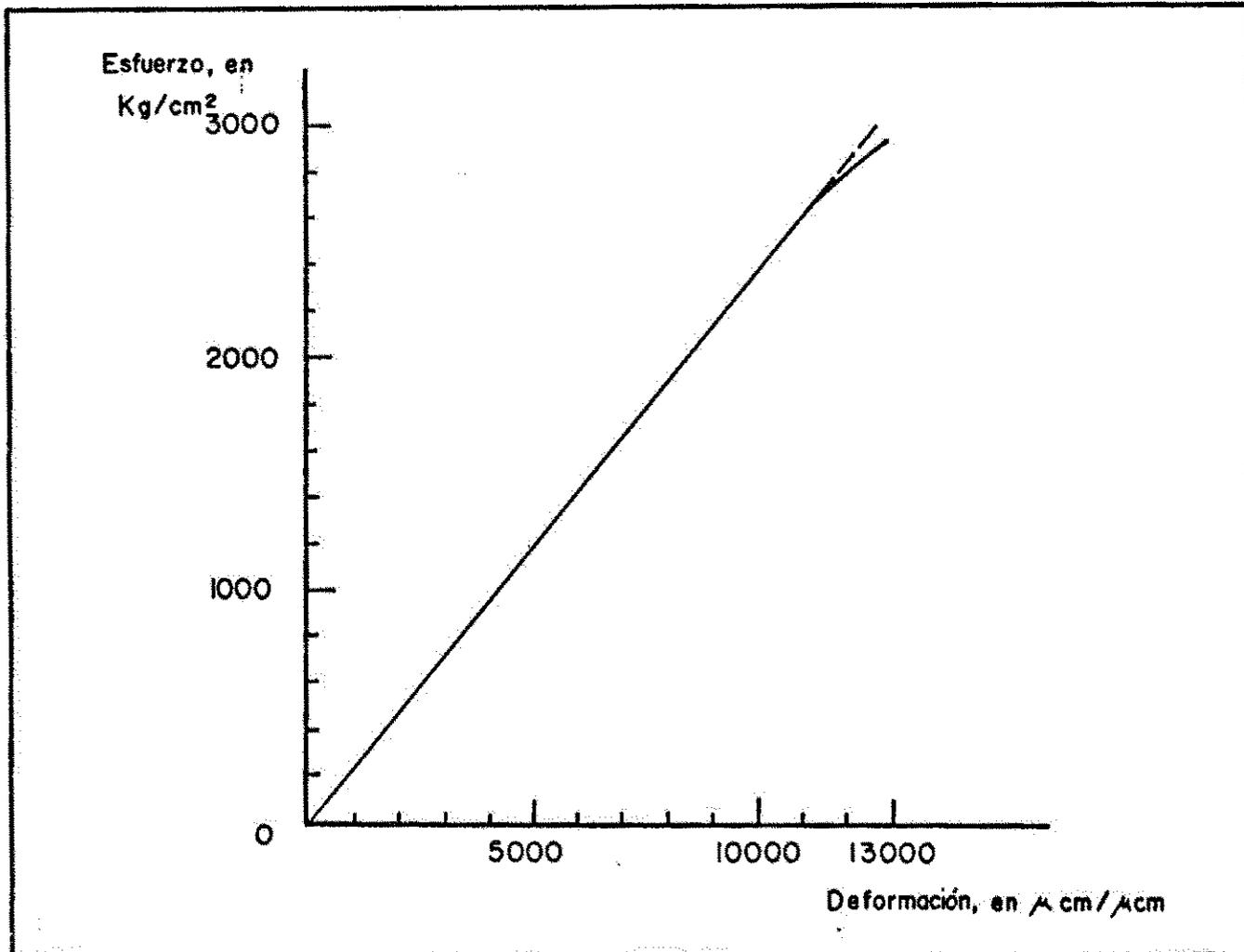


Fig. 2.15 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION DE UNA PROBETA ENSAYADA EN TENSION II, DE ENTEROLOBIUM. (9)

un 6.1% de Hidrógeno. El resto corresponde casi todo a -- Oxígeno (43%), y sólo una pequeña parte está compuesta de Nitrógeno y elementos minerales (cenizas) (2.2) (57). En la figura (2.16), se puede observar un esquema de la composición química de la madera.

2.4.1 Componentes estructurales.

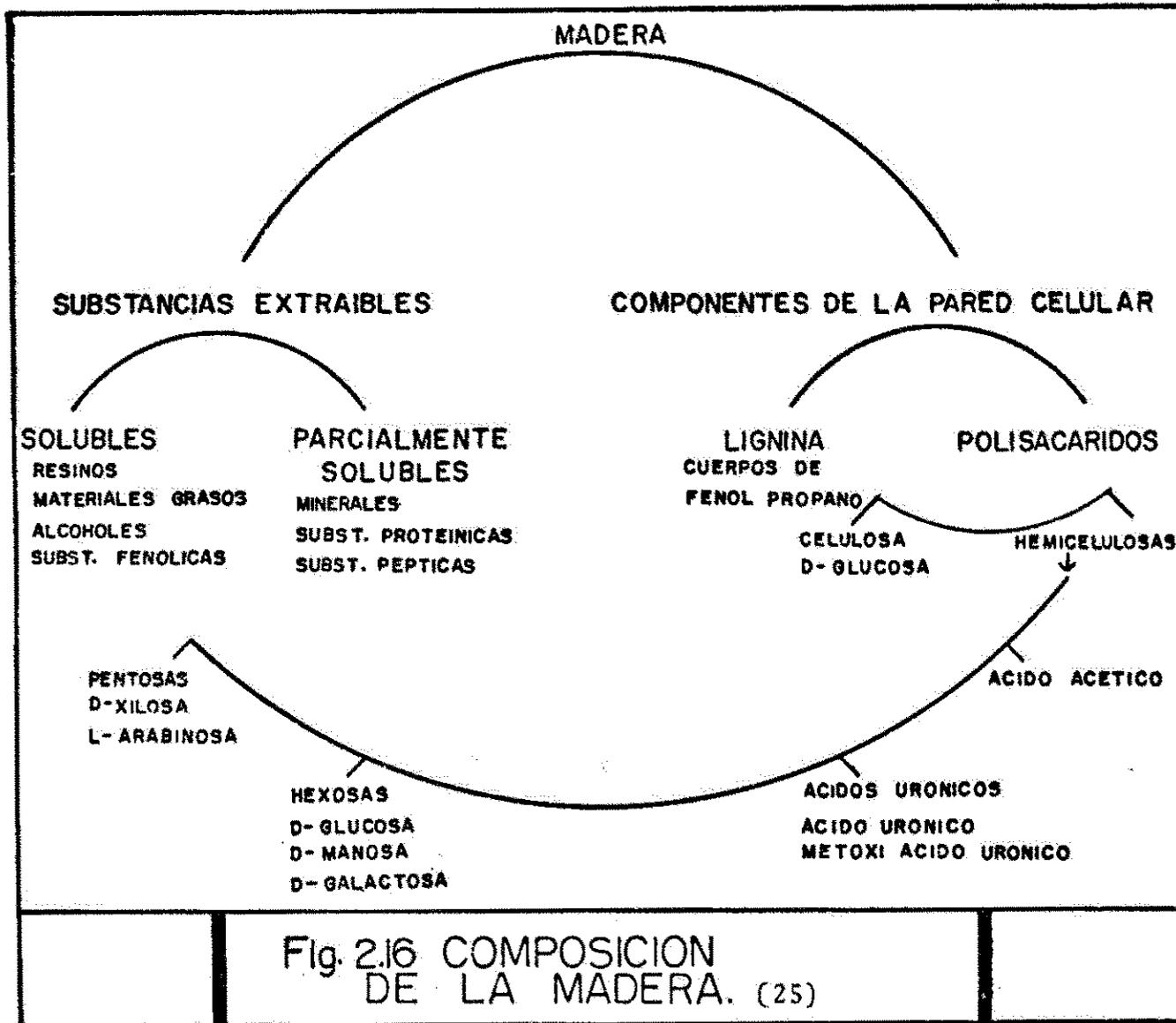
Entre los componentes estructurales de la madera, - se encuentran los carbohidratos (65-75% de madera - base seca), y lignina (20-30%). La fracción de carbohidratos de la madera recibe el nombre de holoceulosa. La pared estructural de las células de la madera, contiene aproximadamente 70-80% (7).

En la figura (2.17), se puede observar el contenido de componentes estructurales y su disposición en la pared celular.

Celulosa: Es la sustancia de mayor cantidad en la naturaleza. Es el principal componente de la madera. Es un polímero formado por cadenas de anhidroglucosa unidos por átomos de carbono 1 y 4, mediante enlaces beta-glucosídicos (1) (48) (25).

La celulosa es insoluble en agua, insípida, es soluble en muy pocos solventes, entre los cuales está - el Hidróxido de Cuproamonio y la Cuprietilendiamina. Estas propiedades de deben en parte a su peso molecular extremadamente elevado (7) (33).

La fibra celulósica de la madera, representa la materia prima fundamental para la fabricación de papel y celulosa soluble, de donde se puede obtener - haciendo reaccionar los grupos OH de las unidades - de glucosa, nitrato de celulosa, utilizada para la manufactura de plásticos tales como: celuloide, y -



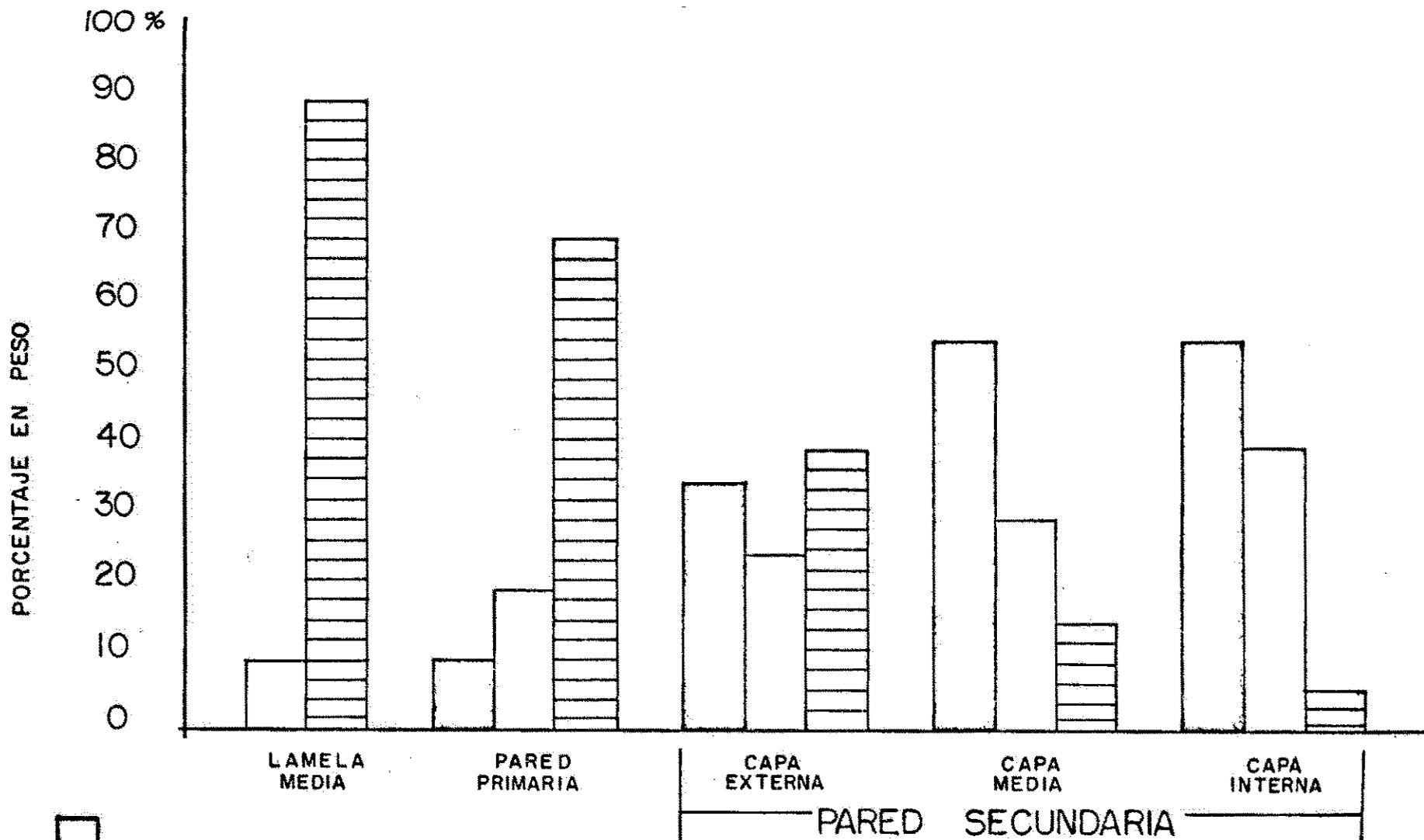


Fig. 2.17 COMPOSICION QUIMICA DE LA PARED CELULAR. (6)

-  CELULOSA
-  HEMICELULOSA
-  LIGNINA

colodión; en películas fotográficas y lacas. Tiene la desventaja de ser inflamable. El acetato de celulosa, siendo menos inflamable que el nitrato, ha desplazado a éste en muchas de sus aplicaciones, -- como en rayón, celofán, películas y diversidad de objetos plásticos (33).

Hemicelulosas: Son aquellos componentes de la pared celular diferentes de la celulosa constituidos por monómeros de pentosas y hexosas. Entre los más comunes están: D-Xilosa, D-Manosa, D-Galáctosa, L-Arabinosa, D-Glucosa, y el ácido Glucorónico. El mayor contenido de hemicelulosas se encuentra en la capa interna de la pared secundaria de la pared celular. Las latifoliadas contienen siempre más Xilosa, menos lignina y manosa que las maderas de coníferas (25) (57).

La cantidad de hemicelulosas varía entre 20-30%, y están estrechamente asociadas con la celulosa. Las hemicelulosas se hidrolizan más rápido por la acción de los ácidos y soluciones alcalinas, que la celulosa.

Las hemicelulosas son hidrófilas, lo que las hace responsables de la hinchazón en la madera. En pulpas para papel es deseable un contenido alto de hemicelulosas, por ser éstas las responsables de la adhesión entre las fibras durante la formación de la hoja de papel. Las pentosas pueden ser transformadas por fermentación a levaduras o a furfural --- (48) (7).

Lignina: Se le encuentra entre un 20-35% en la madera. Es un compuesto aromático constituido por diferentes unidades, las cuales tienen cadenas laterales de tres carbonos. Estas unidades son: alcohol

P-cumarílico, alcohol Coniferílico y alcohol Sinapílico. La lignina es una molécula tridimensional -- amorfa; un polímero constituido por unidades fenilpropano (48) (6).

La lignina se localiza en la lámina media, donde -- cumple el propósito de cementar las fibras (6) (7).

La lignina es insoluble en ácido bajo condiciones -- que produzcan hidrólisis de los polisacáridos. La lignina es más fácilmente solubilizada por agentes oxidantes que los polisacáridos, y muchos procesos de deslignificación están basados en la remoción -- oxidante de la lignina (6).

La presencia de lignina en el papel, produce reacciones de color, pues se torna amarillo con las sales de anilina. Es considerada generalmente como -- materia indeseable en la producción de celulosa. -- En la manufactura de papel, la importancia de la -- lignina en la madera radica en las propiedades físicas que puede lograr una pulpa celulósica, ya que -- la lignina posee la propiedad hidrofóbica, que consiste en provocar una acción contraria a la unión -- de las fibras entre si. La mayor o menor remoción de éste componente en el proceso de pulpeo, determina muchas de las propiedades de las pulpas (48) (6).

2.4.2 Componentes Extraños.

Incluye sustancias presentes en algunas maderas y -- ausentes en otras; dada su solubilidad en diversos solventes, se cuantifican mediante extracciones. -- No se les considera parte integral de la pared celular, sino sustancias incrustantes de la misma (7).

Con el conocimiento de las sustancias presentes en los extraíbles, podemos enfocar los estudios posteriores para explotar tales sustancias. En ocasiones, la clase y cantidad con que ciertas sustancias extraíbles se encuentran presentes en la madera, -- sirve para su caracterización (49).

Existe una considerable variación en la distribu---ción de los extraíbles de la madera en un árbol. -- Los azúcares, el almidón, y algunos compuestos ni--trogenados, se encuentran en la albura. Las sustan--cias fenólicas se encuentran en el duramen general--mente. La savia, por su carácter, es portadora de muchos de éstos compuestos. Existe una variación -- en la concentración de los extraíbles a lo largo -- del tronco del árbol y entre éste y las ramas. Las grasas se localizan en las células parenquimatosas, especialmente en los rayos parenquimáticos, mien---tras que la resina es secretada por células epite--liales y se deposita en los canales resiníferos. Otras sustancias se depositan en los poros de la --madera. La corteza y las raíces son las partes en donde se encuentran los extraíbles en mayor concen--tración (49).

Los extraíbles a menudo tienen un papel importante en la utilización de la madera, e influyen en las --propiedades de la misma. Así tenemos que los compo--nentes inorgánicos, debido a la dureza que imprimen, dañan los elementos de trabajo para madera, como --sierras, cuchillas, cepillos, etc.; los terpenos y resinas provocan defectos en el pegado de la madera, así como taponamiento en las telas de máquinas de --papel. Las sustancias fenólicas curtientes afectan los procesos de cocción debido a reacciones de con--densación de la lignina; provocan un mayor gasto de reactivos, tienen acción corrosiva, ocasionan reac--

ciones de color frente a sales metálicas o de metales; inhiben también la acción o adherencia de las cas y resinas. Alcaloides y algunos otros materiales fisiológicamente activos, pueden presentar riesgos para la salud (45).

Compuestos colorantes volátiles, proveen valores estéticos. Ciertos compuestos fenólicos y algunos otros, favorecen la resistencia contra el ataque de hongos e insectos, provocando mayor durabilidad de la madera; algunos extraíbles son utilizados comercialmente, como son las resinas, taninos, ceras, gomas, alcoholes (45).

Extraíbles en agua: Las sustancias solubles en agua, son aquellas disueltas por agua fría o caliente (aproximadamente 100°C). Entre ellas encontramos carbohidratos solubles en agua, ciclosas y ciclitoles, algunos ácidos orgánicos, glucósidos, algunos de los constituyentes inorgánicos, y muchos de los materiales fenólicos (49) (45).

Extraíbles en alcohol-benceno: Se determina el contenido de grasas, aceites, ceras, resinas, taninos, que tienen gran influencia en el proceso de fabricación de pulpas, pues pueden saponificarse y permanecer en la pulpa, tapar las telas metálicas, impidiendo el drenado del agua, ocasionando manchas. Algunos oscurecen la pulpa, como taninos y materiales colorantes (49) (45).

Extraíbles en etanol: Se determina el contenido de grasa, aceites, ceras y resinas. Se diferencia del anterior porque extrae sustancias más específicas, como taninos de maderas tropicales, que en alcohol-benceno no es posible extraer.

Extraíbles en hidróxido de sodio 1%: Indica extensión de la degradación en el tejido vegetal por efecto de los microorganismos, su utilidad radica en que el incremento del material soluble en álcali es proporcional a la pérdida de rendimiento debido al ataque biológico. Sirve también para cuantificar algunos polifenoles (taninos) solubles en este medio. Son efectivas en la remoción de pentosanos en maderas duras, aunque no en todas y es ligera la extracción en maderas suaves (49) (45).

2.5 Procesos de Obtención de Pulpas para la Fabricación de Papel.

Entre de los procesos de obtención de pulpas, existen procesos químicos y mecánicos, estos últimos llamados de alto rendimiento por no deslignificar las fibras y tener un rendimiento del 90% al 95%.

Dentro de los procesos químicos se encuentran: al sulfato, al sulfito, y a la sosa. Dentro de los mecánicos están: la producción de pasta mecánica, pulpa mecánica, pulpa termomecánica y pulpa químico-mecánica. Los procesos mecánicos son muy utilizados en la obtención de pulpas baratas para la fabricación de papel periódico, papel tapiz, papel sanitario, y principalmente en la elaboración de cajas y cartones. Tienen la desventaja que al ser almacenados durante mucho tiempo, el papel se torna de un color amarillento, producto de la lignina que se encuentra en su totalidad en las pulpas; además, estos papeles tienen índices bajos de resistencia.

Los procesos químicos producen una pulpa de menor rendimiento, pero con propiedades de resistencia (tensión, rasgado y explosión) mucho más alta que la pulpa mecánica, lo

que lleva a la producción de papeles de mejor calidad. --
Tienen las desventajas de que son muy contaminantes, y alcanzan sólo un rendimiento del 40%-45% del total de la madera.

Se consideran de mayor importancia los procesos al sulfato y a la sosa, pues son los que se emplean más frecuentemente en nuestros medios tropicales, ya que pueden utilizar diversidad de materia prima (incluyendo coníferas con alto contenido de resina), que en otros procesos es difícil de utilizar; además, dentro de los procesos químicos son quienes producen menor contaminación en el medio ambiente.

En la fabricación de pulpa por el proceso a la sosa, se --
usa un licor de cocción que consiste principalmente de ---
sosa cáustica. El proceso al sulfato difiere del de la --
sosa porque en su licor de cocción utiliza sulfuro de so--
dio junto con hidróxido de sodio. A la presencia del sul--
furo se debe la mayor resistencia de la pulpa y la cocción
más rápida del proceso al sulfato, en comparación con la -
pulpa a la sosa (28).

En la actualidad, prácticamente todas las fábricas a la --
sosa han incorporado el empleo de cuando menos una pequeña
cantidad de sulfuro en su licor de cocción, así que no hay
diferencias esenciales entre los procesos a la sosa y al -
sulfato (28).

La primera preparación de la madera es el descortezado. -
Después del descortezado, los troncos de madera se asti---
llan al tamaño óptimo para la digestión. Las astillas se
tamizan, y sólo aquellas de tamaño permisible se mandan a
los digestores; en éstos se realiza la digestión (cocción),
la cual tiene por objeto disolver la lignina y otras por--
ciones no celulósicas de la madera que cementan las fibras
entre sí; con lo anterior, quedará una pulpa de fibras in-

dividuales, que pueden volver a reunirse en una hoja de -- papel (48).

Al comenzar el ciclo de cocción las astillas pasan del silo de almacenamiento por una válvula colectiva al digestor, donde se le adiciona el licor, que contiene aproximadamente 12% NaOH, 5-4% carbonato de calcio, y 2-4% de Na₂S (48).

Se admite vapor al digestor y se aumenta la presión hasta alcanzar la temperatura de cocción. El digestor puede descargarse inmediatamente después de haber alcanzado la máxima presión, o bien ésta puede mantenerse hasta una hora -- después para cocción adicional (28).

Durante la cocción, especialmente hacia su final, se extraen los gases de los que luego, por enfriamiento, se separa la trementina (26).

Al final de la cocción se hace pasar todo el contenido del digestor por una serie de lavadores, donde se efectúa el lavado mediante agua fría, con el propósito de recuperar la mayor cantidad de licor posible. La sustancia lavada es abierta en los abridores, es decir se desfibra al ser golpeada por unas paletas dispuestas en hélices, y pasa en estado muy diluído. Después la pasta se concentra y se hace pasar por refinadores donde se terminan de deshacer los últimos paquetes de fibras. Finalmente vuelve a diluirse y es deshidratada en las máquinas continuas (26).

El licor negro se concentra en evaporadores hasta alcanzar concentraciones del 50% de sustancias sólidas, y en éste estado pasa a un horno donde se incinera para formar una masa sódica fundida, que al adicionársele cantidades de sulfuro de sodio, queda lista para un nuevo ciclo.

3. MATERIALES Y METODOS.

3.1 Material de Estudio.

El Material de estudio que se utilizó para la elaboración de este trabajo, fue recolectado e identificado por el personal del Instituto de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara.

Se empleó el método de muestreo completamente al azar para las especies: Pinus y Quercus castanea que fueron obtenidas de diferentes sitios de muestreo del estado de Jalisco.

La madera de Enterolobium cyclocarpum fue obtenida en rollo directamente de un aserradero.

En la figura (3.1) se indica la zona del fuste recomendada para realizar los diferentes estudios tecnológicos (44).

Datos de recolección Pinus douglasiana:

El área de recolección está comprendida en el municipio de Tapalpa, predio Las Rocas, que presenta un bosque natural de coníferas; el suelo contiene rocas ígneas de material basáltico con pendiente de 15% (irregular) de 40 cm de profundidad, textura fina, domina el luvisol crómico y el feozón lúvico. Considerado como sitio clase 3 respecto a pendientes y 2 respecto a deficiencia de agua.

Datos de recolección Quercus castanea:

El área de recolección está comprendida en el cerro de Tequila; presenta un bosque natural de latifoliadas caducifolio, con pequeños pastizales inducidos, presenta rocas

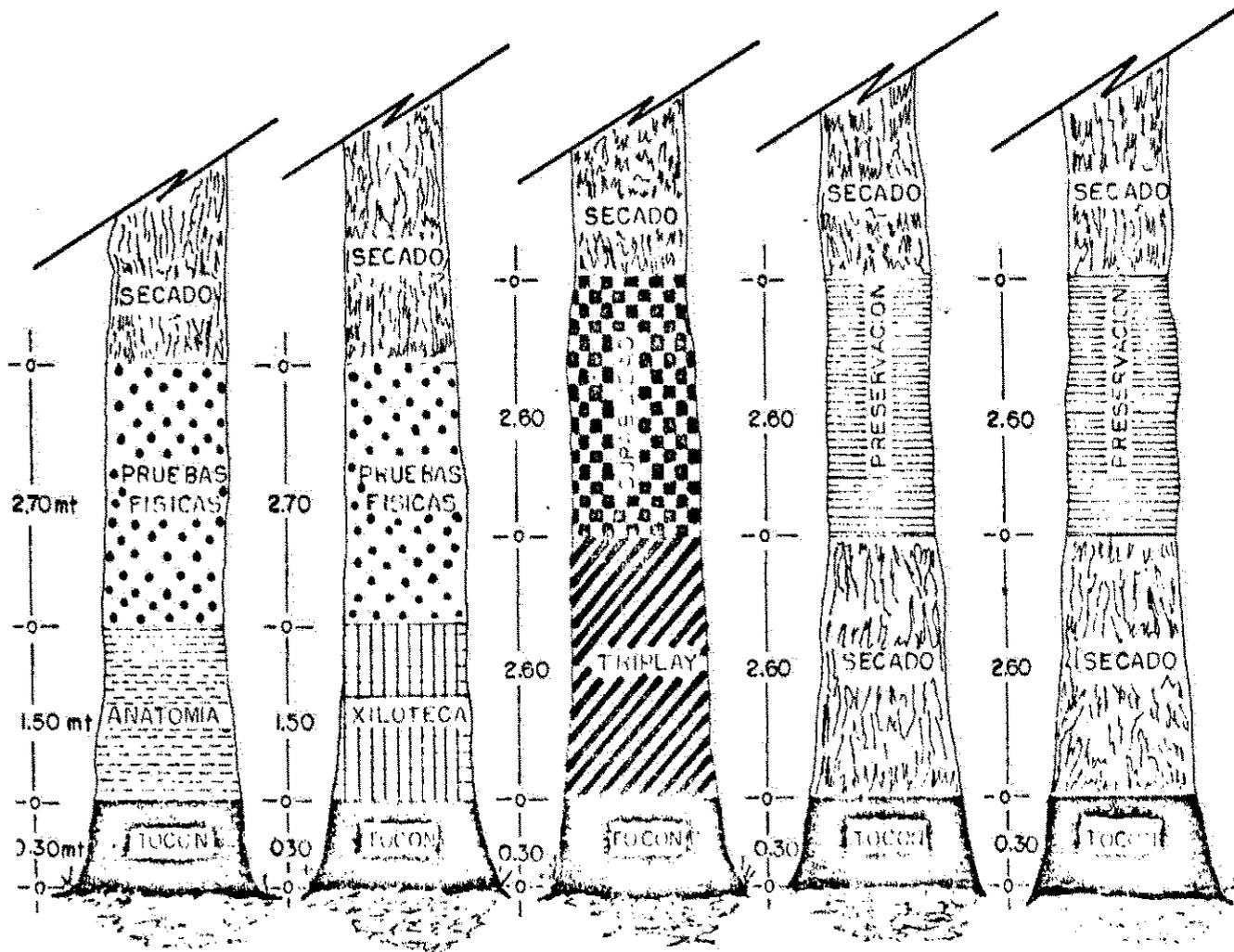


Fig. No.3.1 Ubicación de las trazas en el fuste para estudios tecnológicos. (44)

Diámetro mínimo 40 cm.

ígneas de origen basáltico, con pendiente de 20-30% (irregular), textura media, domina el feozón lúvico, pedregoso (fragmentos mayores de 7.5 cm) en la superficie o cerca de ella que impiden el uso de maquinaria. Considerado como sitio de clase 6 respecto a pendiente, y 2 respecto a deficiencia de agua.

3.2 Estudio Anatómico.

3.2.1 Estudio Macroscópico.

Se llevó a cabo en la madera de cada una de las tres especies, utilizando muestras de xiloteca (tablillas de 15 x 7 x 1 cm) que ofrecían las secciones típicas transversal, tangencial y radial. Se tomó nota del color, sabor, olor y se observaron características apreciables a simple vista tales como: grano, textura veteado, visibilidad de los anillos de crecimiento y de los radios medulares.

3.2.2 Estudio Microscópico.

Para su efecto se cortaron cubos (probetas) de 3 x 1.5 x 1.5 cm con una buena orientación con el fin de mostrar las secciones típicas. Se utilizó la técnica de ablandamiento en alcohol-tolueno al 50% y agua, en proporción de 1:1. Los cubos fueron colocados en ebullición durante un período de tiempo de seis horas durante tres días consecutivos; al cabo del cual se introdujeron en una solución de alcohol-glicerina en proporción de 1:1 para preservar las muestras. Después los cubos se colocaron en un microtomo de deslizamiento (para maderas duras los géneros Quercus y Enterolobium, y para maderas suaves el género Pinus), y se cortaron seccio-

nes transversales, tangenciales y radiales con un grosor de 20 a 30 micras.

Se seleccionaron los mejores cortes y se lavaron varias veces con agua destilada hasta eliminar el alcohol y la glicerina; a continuación se realizó la tinción utilizando la técnica siguiente: los cortes fueron colocados en una caja petri que contenía una solución de azul de astrablau durante diez minutos, después fueron colocados en otra caja petri que contenía una solución de safranina durante diez minutos; el exceso de colorante fué lavado con agua destilada.

Para obtener las muestras fijas, los cortes fueron deshidratados con alcohol al 50%, alcohol al 100%, alcohol-xileno, y finalmente en xileno, permaneciendo un tiempo de diez minutos en cada solución. Los cortes fueron montados entre el porta y cubre objeto con resina y xileno al 60% y 40% respectivamente.

Para el material disociado la técnica consistió en hacer pequeñas astillas las cuales fueron sometidas a un ablandamiento con peróxido de hidrógeno y ácido acético en proporción de 1:1, luego se colocaron en ebullición por un período de cinco días, hasta que los elementos se dispersaron. Los elementos disociados fueron montados entre el porta y cubre objeto con resina y xileno al 60% y 40% respectivamente.

En cada especie se observaron fibras, parénquima, radios medulares, anillos de crecimiento, poros (en Quercus y Enterolobium) y canales resiníferos (Pinus).

Fibras: se midió su diámetro, longitud, grosor de sus paredes, espesor de lumen, y se observaron sus puntuaciones.

Radios medulares: se midió su ancho y alto, se describió y contó el número por mm lineal.

Parénquima leñoso: descripción y abundancia.

Poros: se midió su diámetro, número por mm².

Canales resiníferos: su diámetro, número por mm².

Los caracteres medibles se clasificaron según -----
Wagenführ (55).

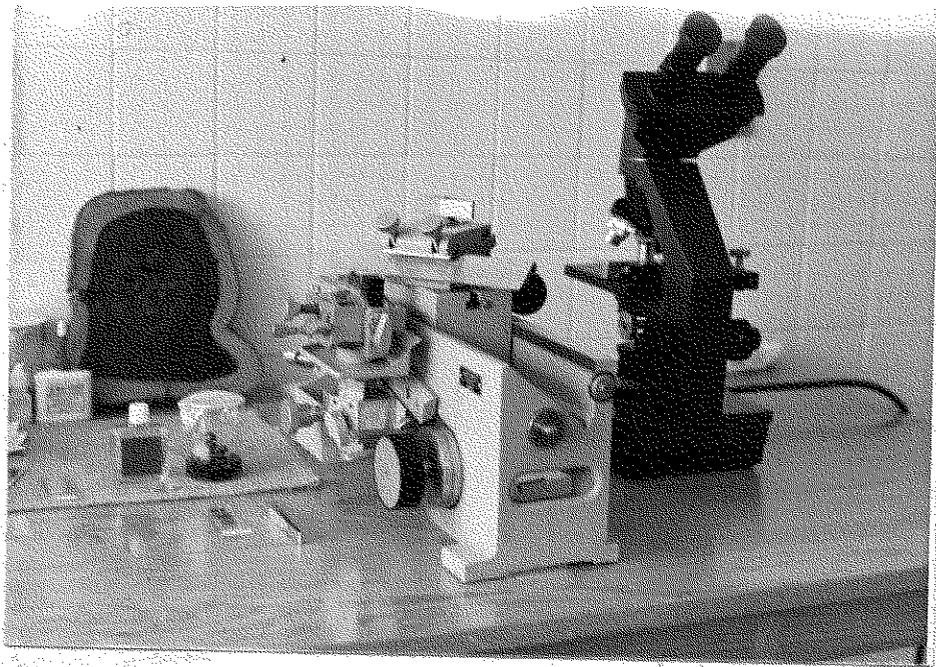
A cada especie le fueron tomadas microfotografías de sus secciones transversal, tangencial, radial -- así como del material disperso.

Con el propósito de obtener datos confiables, para cada uno de los elementos medibles, se determinó - su valor máximo y mínimo, media poblacional, desviación standar, varianza y coeficiente de variación - los cuales se estimaron con un nivel de probabili-- dad del 95% y un máximo de error del 5% (en 30 cortes y 120 mediciones por cada corte).

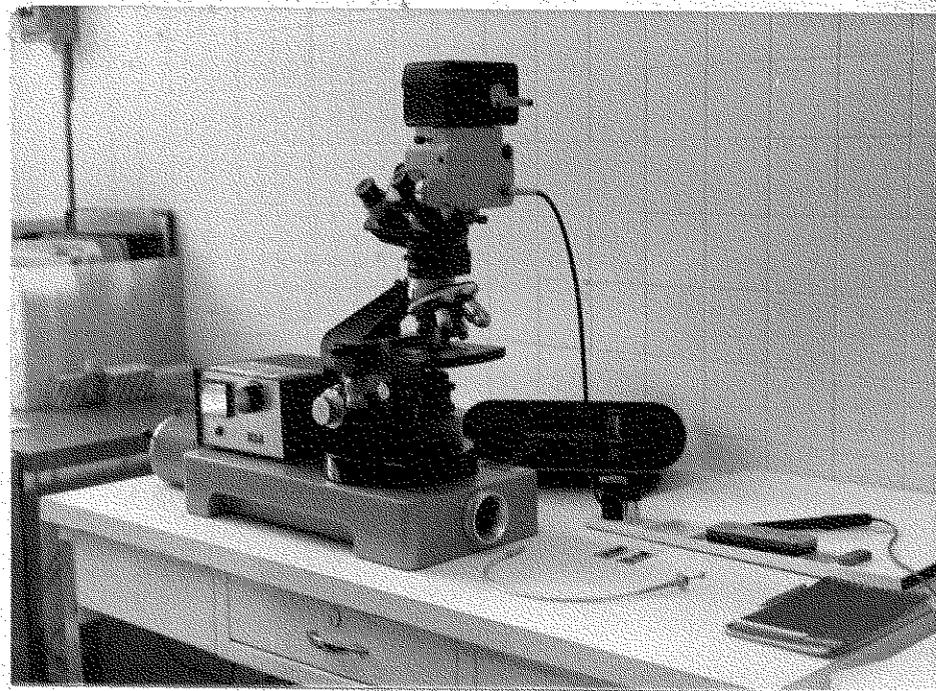
3.3 Determinación de Propiedades Físicas y Mecánicas.

3.3.1 Elaboración de las Probetas.

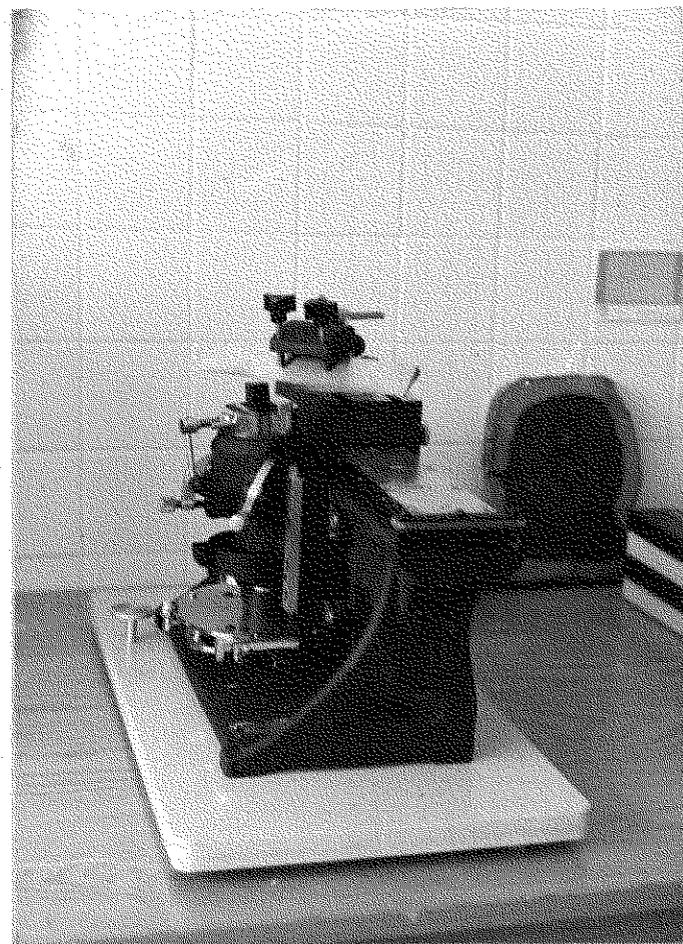
La elaboración de las probetas es un factor muy importante en los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de la madera, pues tanto la inadecuada ---- orientación de los anillos de crecimiento y la di--



A



B



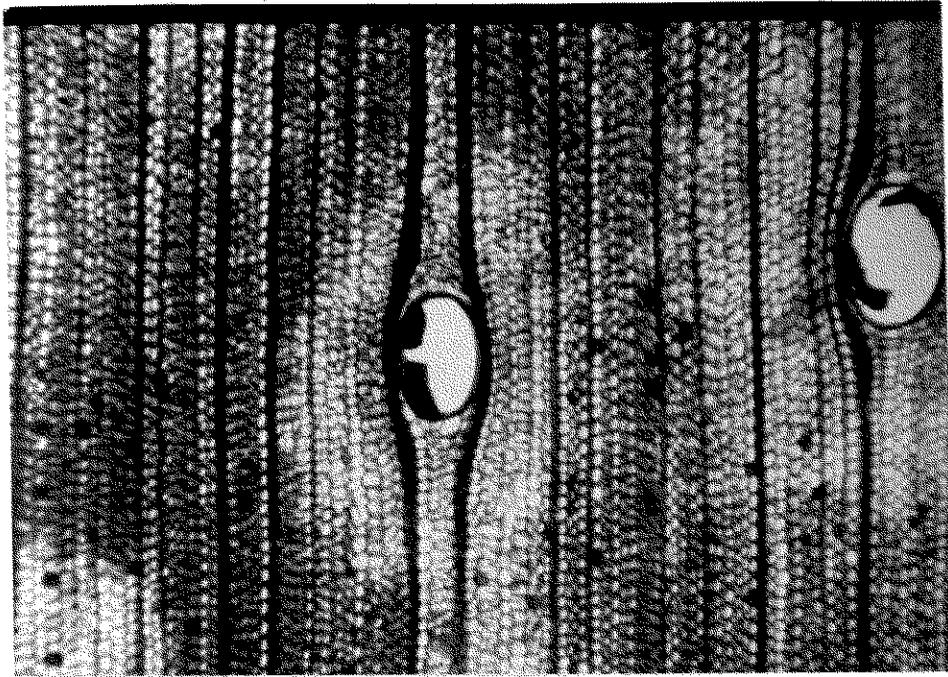
C

A.- Microtomo para maderas suaves.

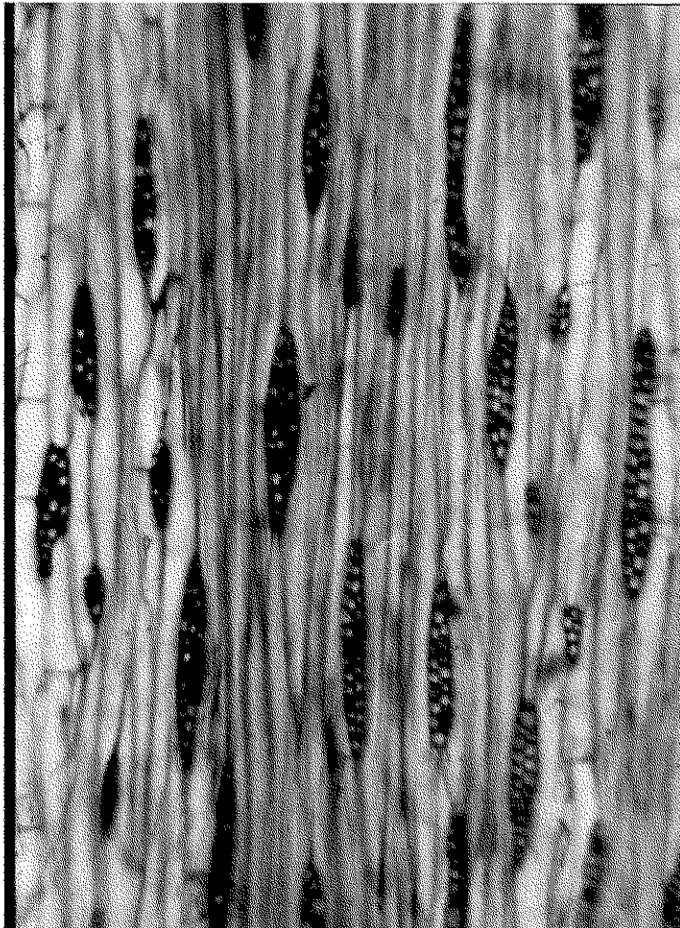
B.- Cámara para microfotografías.

C.- Microtomo para maderas duras.

Enterolobium cyclocarpum

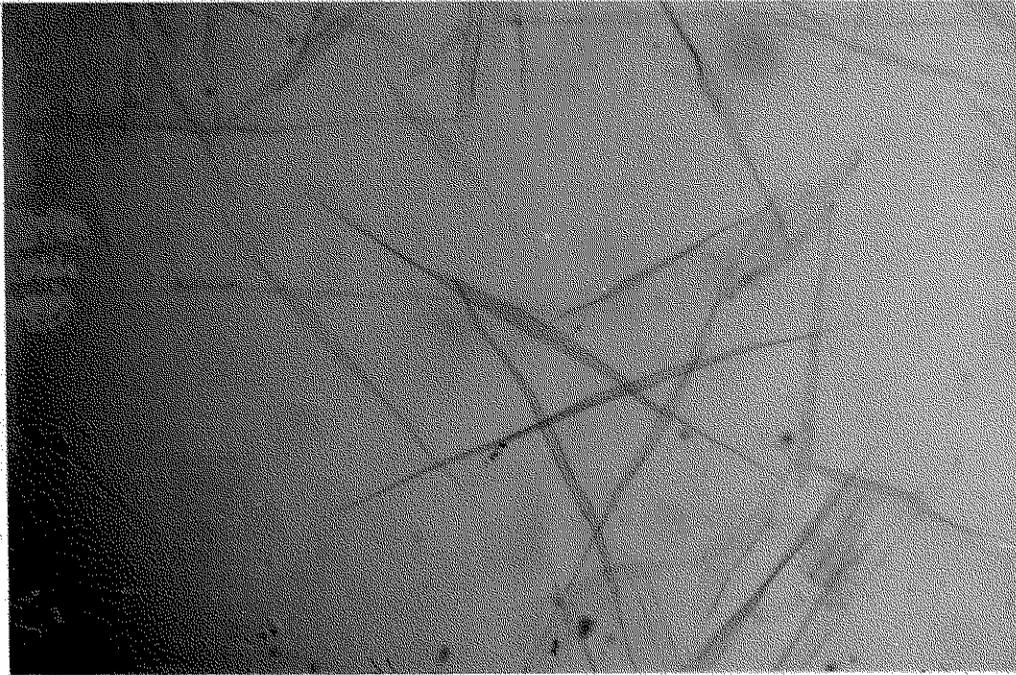


Corte transversal 50x, mostrando poro tilosado, parénquima paratraqueal vasicéntrico, radios medulares y fibras.



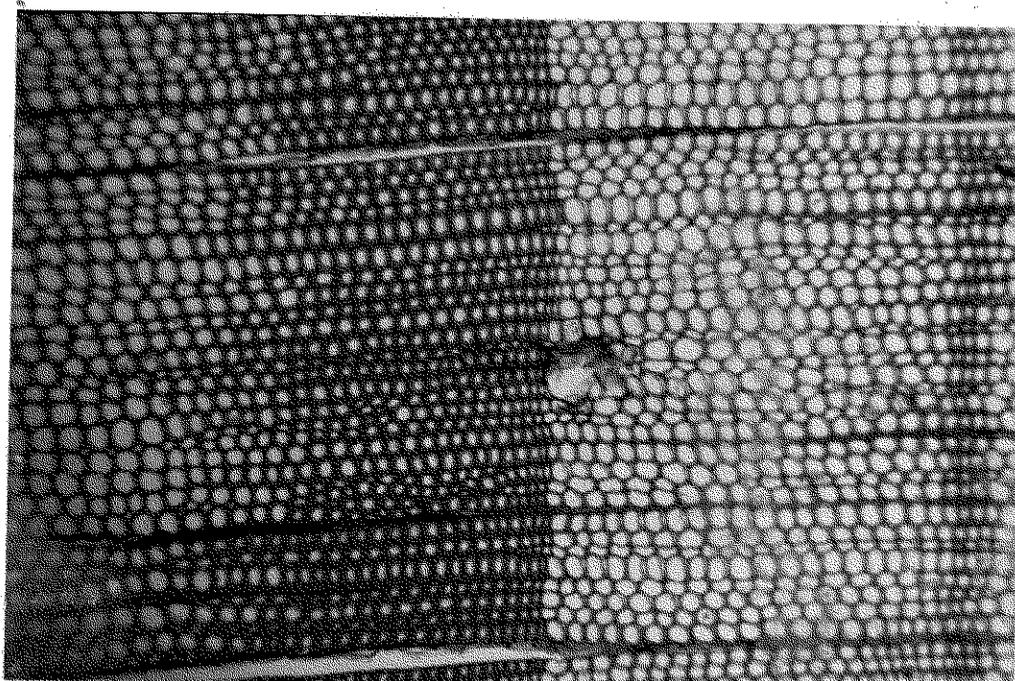
Corte tangencial 125x, mostrando radios poliseriados, parénquima longitudinal y fibras.

Corte radial 125x, mostrando fibras y células del parénquima radial.

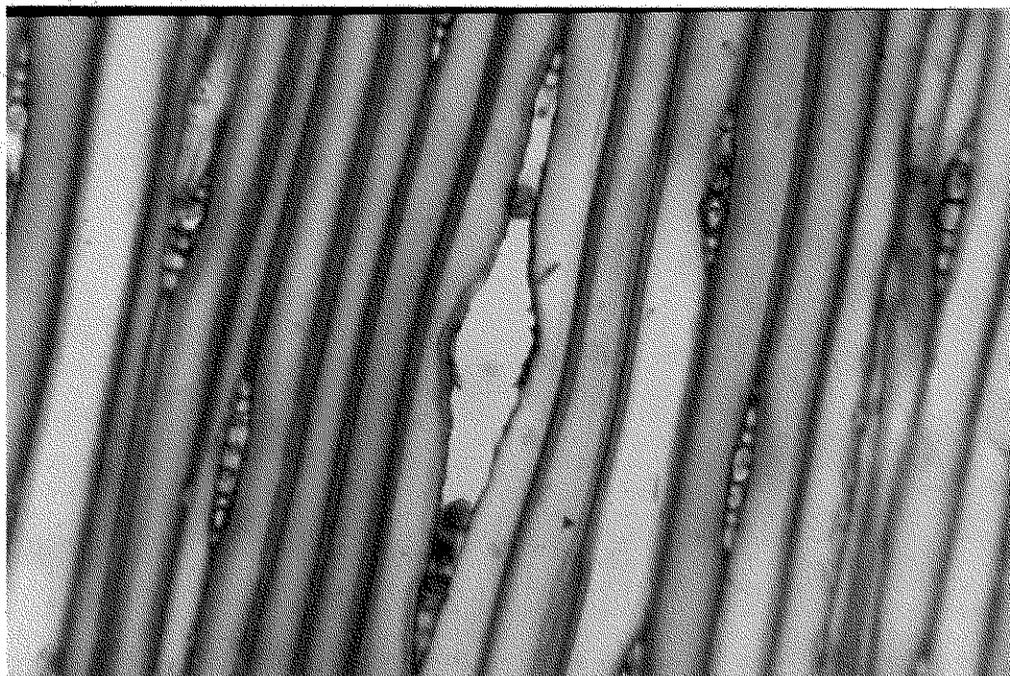


Material disperso 20x, mostrando fibras con restos de parénquima.

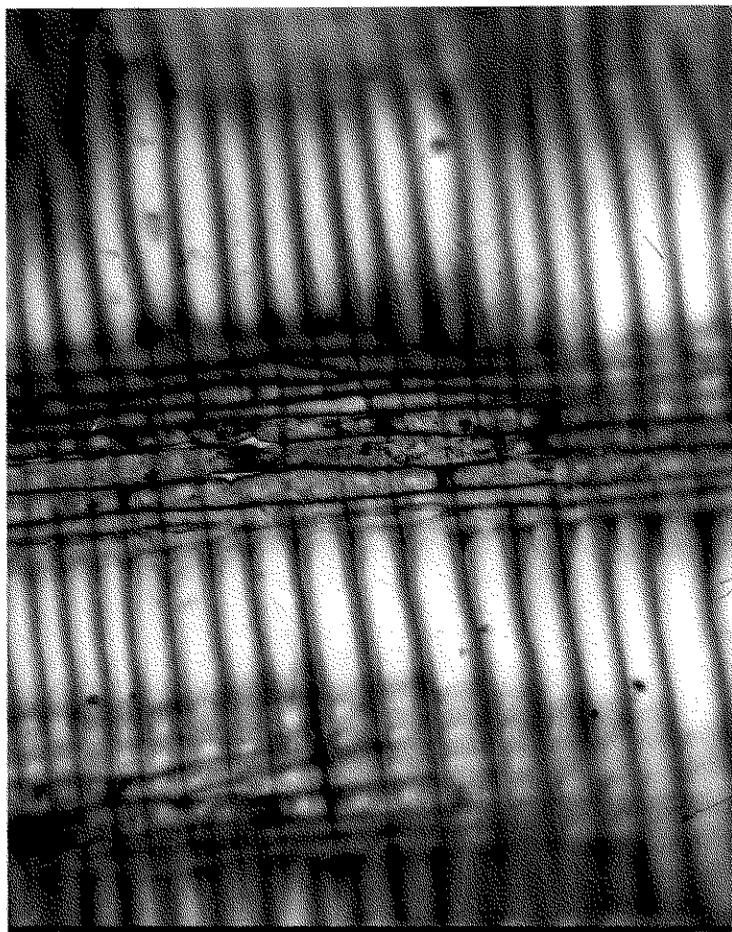
Pinus douglasiana



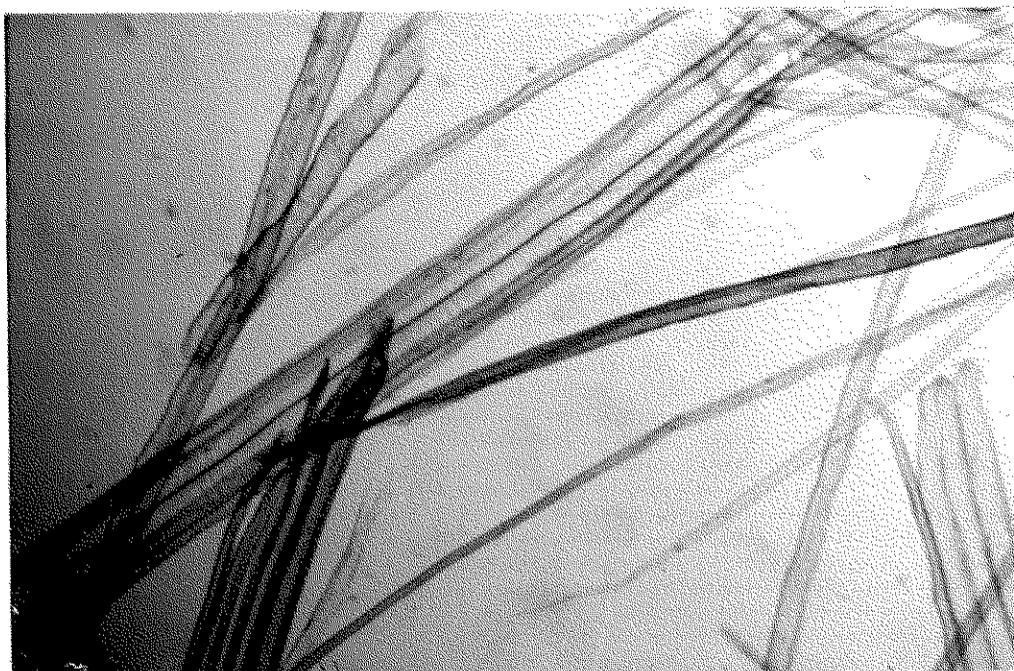
Corte transversal 50x, mostrando madera temprana y tardía, radios medulares y canal resinífero



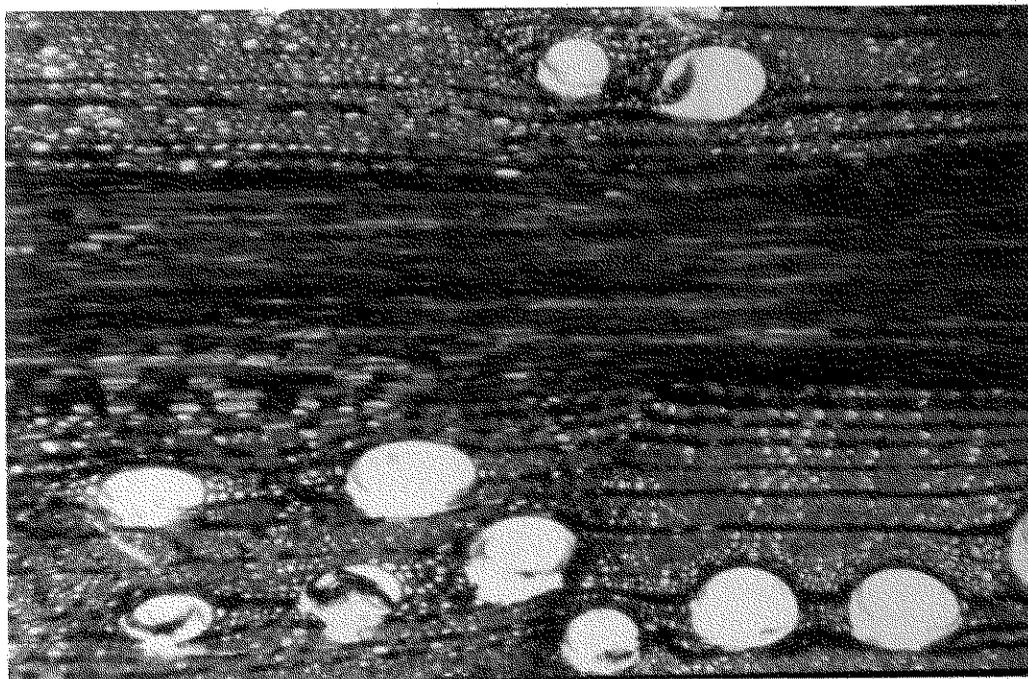
Corte tangencial 125x, mostrando fibras de madera temprana y tardía y radios medulares uniseriados.



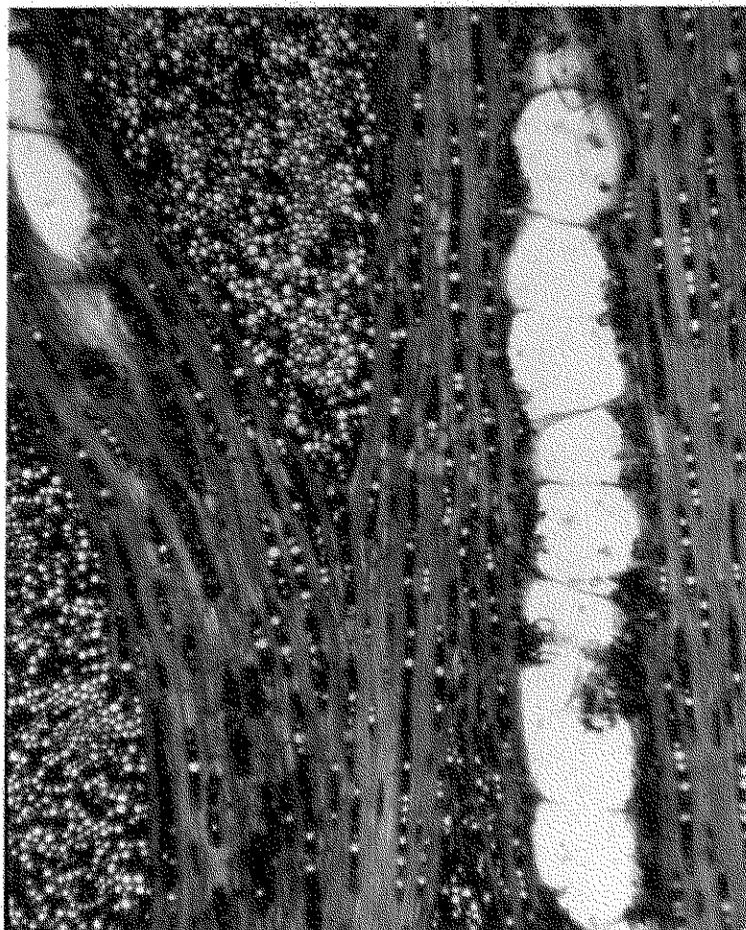
Corte radial 125x, mostrando fibras, punteaduras areoladas, y células del parénquima radial.



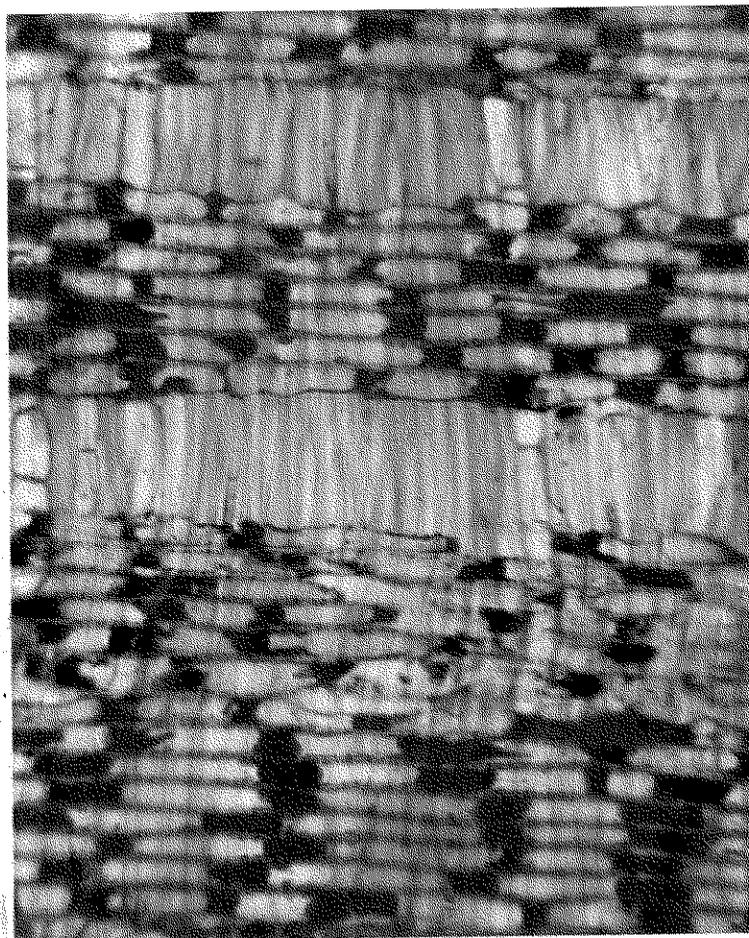
Material disperso 50x, mostrando fibras con numerosas punteaduras areoladas.

Quercus castanea

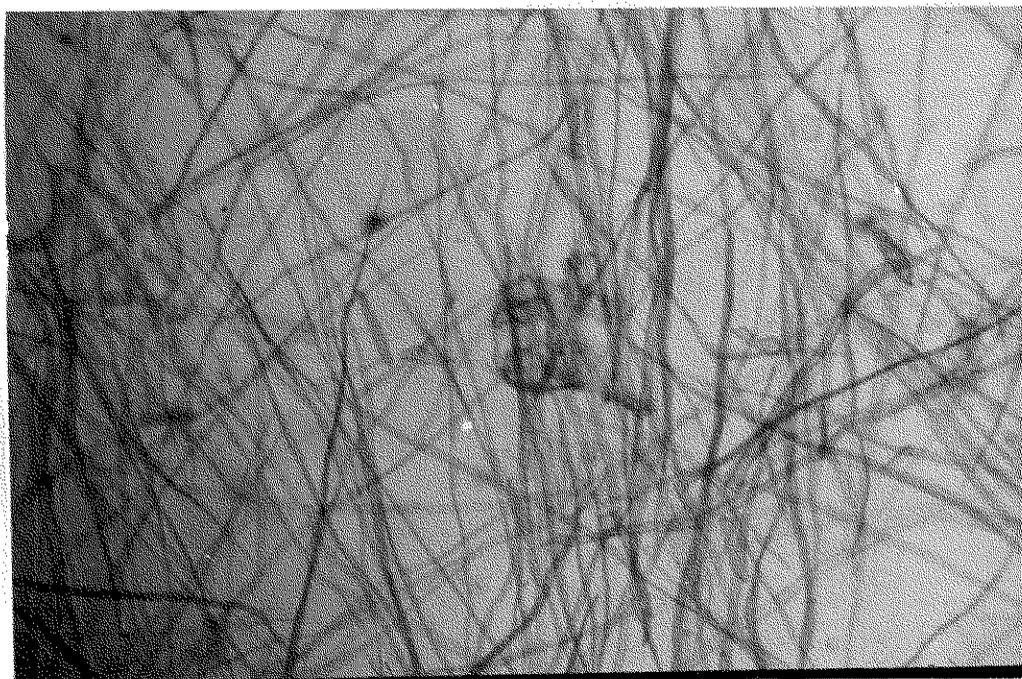
Corte transversal 50x, mostrando poros, radio poliseriado, radios uniseriados, parénquima paratraqueal difuso y apotraqueal difuso.



Corte tangencial 125x, mostrando radios uniseriados y poliseriados, vasos, fibras y parénquima longitudinal.



Corte radial 125x, mostrando células de parénquima radial, fibras y parénquima longitudinal.



Material disperso 50x, mostrando fibras y restos de parénquima.

rección de las fibras, como la presencia de defectos en la madera, traen consigo resultados incorrectos.

Las probetas se elaboran siempre en tal forma que - dos lados opuestos tengan cara tangencial paralela a los anillos de crecimiento, y los otros dos lados cara radial. Fig. (3.2) (22) Para lograr esto, se deben obtener de un tronco que ha sido secado al -- aire libre (contenido de humedad menor a 20%), secciones de madera en corte radial que en su cara --- transversal presenten anillos anuales bien orientados, pues anillos oblicuos impiden la correcta medición de los esfuerzos de resistencia en los diferentes ensayos; en la cara radial debe presentar fi--- bras rectas y las líneas de los anillos de creci--- miento en forma paralela; la carta tangencial debe mostrar la super posición de los anillos en forma - de pirámide.

Una vez obtenidas las secciones de madera bien ---- orientadas y libre de defectos, se procede a cortar las probetas para cada ensayo de acuerdo a las di--- mensiones que establece la norma que para tales fines se vaya a utilizar.

En la preparación de las probetas es indispensable el uso de equipo adecuado para obtener muestras que se ajusten a las especificaciones de las normas. Entre las principales máquinas se tienen: sierra -- cinta, sierra circular, sierra transversal, cepilla dora-canteadora, y reuter superior (fresadora).

Las dimensiones de las probetas para los diferentes ensayos de propiedades mecánicas y físicas, se de--- terminaron según las normas internacionales DIN.

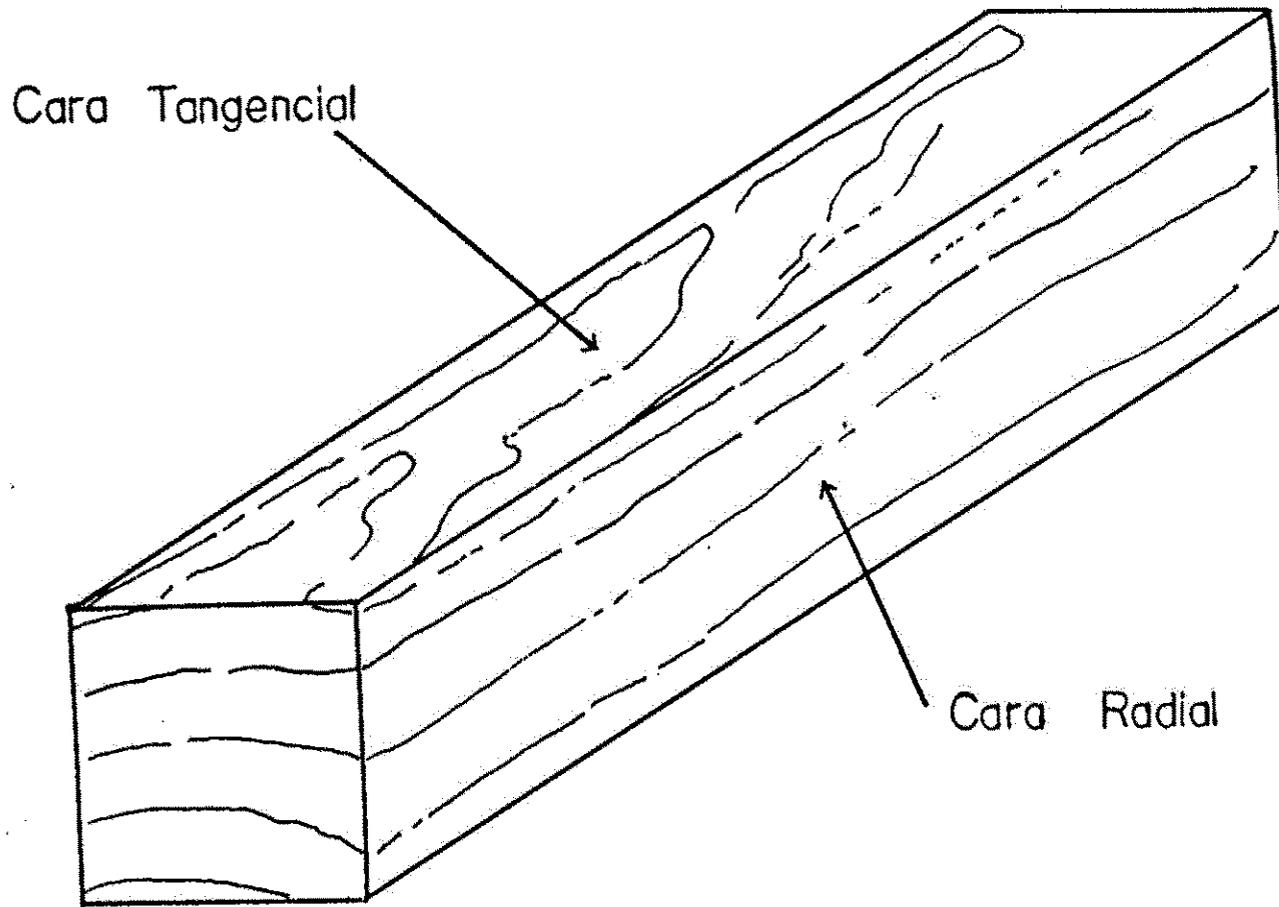


Fig. 3.2 ORIENTACION DE LOS ANILLOS EN LAS PROBETAS PARA LOS ENSAYOS DE PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LA MADERA.

- Probetas para ensayos de flexión.

Según la norma DIN 52186 para determinación de la resistencia a la flexión tangencial a los anillos anuales de crecimiento, la probeta debe tener una sección transversal cuadrada y un largo de acuerdo a las siguientes especificaciones:

- ° Sección transversal $b = h = 20 \pm 1$ mm, donde b es el lado y la h la altura. En caso de madera con anillos anuales muy anchos o con una dirección de la fibra muy irregular, es recomendado usar probetas con una sección transversal mayor, de modo que comprenda por lo menos cinco anillos anuales de crecimiento.
- ° Longitud $L = l + 3h$, donde l es la distancia del claro entre los soportes donde se coloca la probeta al momento del ensayo, y se representa como $l = 15h$.

Según éstas especificaciones, la probeta para ensayo de flexión tiene una sección transversal de 20 x 20 mm y una longitud de 360 mm Fig. (3.2).

Probetas para ensayos de compresión.

Según la norma DIN 52185 para la determinación de la resistencia a la compresión longitudinal a las fibras y del módulo de elasticidad, la probeta debe tener las siguientes dimensiones:

- ° Sección transversal $a = h = 20 \pm 1$ mm, donde a es el lado y h la altura. En caso de madera con dirección de la fibra irregular (grano espiralado), las dimensiones deberán ser mayores (50 mm por lado).

° Longitud $L = 3a$.

De acuerdo a estas reglas, la probeta tiene una sección transversal de 20 x 20 mm, y una longitud de 60 mm. Cuando se quiere determinar solamente la resistencia y no el módulo de elasticidad, la probeta puede tener una menor longitud.

- Probetas para ensayos de tensión.

Según la norma DIN 52188 para determinación de la resistencia a la tensión paralela a las fibras, la probeta debe tener las dimensiones señaladas en la Fig. (3.3).

- Probetas para la determinación de la densidad.

Según la norma DIN 52182, la probeta para la determinación de la densidad debe tener las dimensiones mínimas de 20 x 20 x 20 mm.

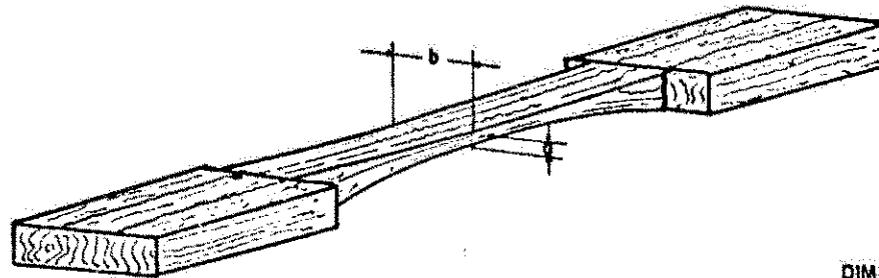
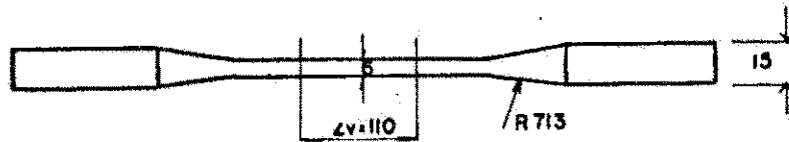
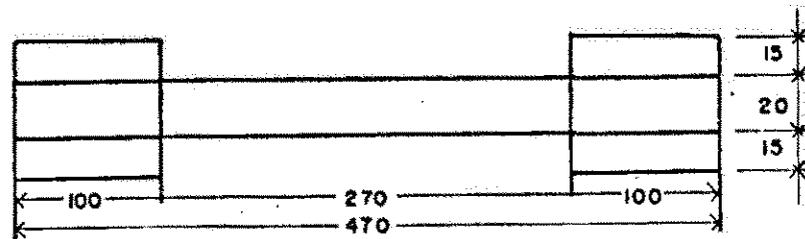
- Probetas para la determinación del contenido de humedad.

Según la norma DIN 52183, para determinación del contenido de humedad tendrá dimensiones de acuerdo al tamaño de la pieza de madera que se desee estudiar.

En ensayos de flexión estática, el contenido de humedad se determina en una sección adyacente a la zona de ruptura, por la influencia que tiene sobre las propiedades físicas y mecánicas.

3.3.2 Número de Probetas por Ensayo.

Según la norma DIN 52180 parte 1 de principios para



DIMENSIONES EN mm

Fig. 3.3 CARACTERISTICAS DE LA PROBETA PARA ENSAYOS DE TENSION. (22)

la toma de probetas, el número mínimo de probetas - para obtener resultados con que se puedan aplicar - los métodos estadísticos es de 10.

3.3.3 Acondicionamiento de las Probetas.

Una vez terminada la etapa de preparación de las -- probetas se procede a un acondicionamiento de las - mismas, el cual debe hacerse de preferencia en el - laboratorio donde se han de realizar las pruebas.

Según la norma DIN 50014 para acondicionamiento de material de ensayo, las probetas deben adecuarse a un "clima normal", que en su ambiente presente una humedad relativa del aire de $65\% \pm 2\%$, y una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$; en este ambiente, el contenido de humedad de la madera llega más o menos a un equilibrio de 12%.

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera varían de acuerdo al contenido de humedad de la probeta, como se vió en capítulo anterior. Para tener una base de comparación, el acondicionamiento en el "clima normal" es indispensable y todas las normas referentes lo exigen (5) (2) (47) (11).

3.3.4 Realización de los Ensayos.

- Ensayo de flexión estática (tangencial a los anillos de crecimiento).

La probeta de dimensiones de 20 x 20 mm de sección transversal y 360 mm de longitud, se colocó apoyada por la parte cercana a sus extremos sobre dos soportes articulados a la máquina universal,

separados por un claro ($l = 15h$), de 300 mm uno - del otro. La carga estática se aplicó con el cabezal sobre la parte media superior de la probeta (tangencial a los anillos de crecimiento), en donde se colocó un jinete de madera dura (cubo de 20 x 20 x 10 mm).

Para determinar el módulo de elasticidad por ensayo de flexión, se necesitó obtener el diagrama de carga-deformación, el que se logra antes del momento de ruptura. Del campo lineal del diagrama se obtuvo la relación del incremento de fuerza ΔF , y la deformación Δl . La fórmula a aplicar es la siguiente:

$$E_c = \frac{(F_2 - F_1) \cdot l_0}{b \cdot h (l_2 - l_1)}$$

E_c : Módulo de elasticidad

F_1 y F_2 : Valores de fuerza, obtenidos del diagrama.

l_1 y l_2 : Valores de deformación, obtenidos del diagrama.

Para determinar la resistencia a la flexión, la carga se aplicó a velocidad determinada hasta la ruptura de la probeta, que debe ser en un tiempo mínimo de 60 segundos, hasta 100 segundos después de iniciado el ensayo. La fórmula a emplear es la siguiente:

$$R_f = \frac{M}{W} = \frac{3F_l}{2bh^2} \quad \text{N/mm}^2$$

R_f : Resistencia a la flexión (N/mm^2).

M : Momento de flexión (N/mm^2).

W : Resistencia de la probeta (mm^3).

F : Fuerza máxima de ruptura en Newton.

l : Claro (distancia entre apoyos) en mm.

b : Ancho de la probeta en mm.

h : Altura de la probeta en mm.

- Ensayo de compresión longitudinal (paralelo a las fibras).

La probeta de dimensiones de 20 x 20 mm de sección transversal y 60 mm de longitud, se pesó en una balanza analítica para calcular posteriormente su densidad y su contenido de humedad.

Luego se sometió a compresión, obteniendo por medio de un extensiómetro colocado de modo que abarcara una distancia de 40 mm de sección longitudinal en la probeta, el diagrama de carga deformación para determinar el módulo de elasticidad, el cual se calculó por la siguiente fórmula:

$$E_c = \frac{40 (F_2 - F_1)}{b \cdot h (l_2 - l_1)} \quad \text{N/mm}^2$$

La carga de compresión se aplicó a velocidad determinada de modo que la ruptura de la probeta se presentara entre los 60 y los 90 segundos después de iniciado el ensayo.

La fórmula para calcular la resistencia a la compresión es la siguiente:

$$R_c = \frac{F}{b \cdot h} = \frac{F}{A} \quad \text{N/mm}^2$$

R_c: Resistencia a la compresión.

F: Fuerza máxima de ruptura (N/mm²).

b: Ancho de la probeta en mm.

h: Altura de la probeta en mm.

A: Area de la sección transversal.

- Ensayo de tensión longitudinal (paralela a la fibra).

A la probeta diseñada según las normas establecidas, se le tomaron las dimensiones en ancho y espesor en su parte central para determinar el área de la sección transversal del centro. Luego se sujetó en posición vertical por sus extremos y se sometió a una fuerza de tensión.

Para determinar el módulo de elasticidad, se obtuvo el diagrama de carga-deformación por medio del extensiómetro colocado de modo que abarcara una distancia de 50 mm de sección longitudinal al centro de la probeta. La fórmula que se utilizó para calcular el módulo de elasticidad es la misma que se empleó en el ensayo de compresión, variando solamente el factor de cobertura del extensiómetro de 40 a 50 mm.

La fuerza de tensión se aplicó a velocidad determinada, de tal forma que la ruptura de la probeta se presentó a los 60-90 segundos después de iniciado el ensayo. Para calcular la resistencia a la tensión, se empleó la fórmula siguiente:

$$R_t = \frac{F}{a \cdot b} = \frac{F}{A} \quad \text{N/mm}^2$$

R_t: Resistencia a la tensión.

b: Ancho de la probeta en la parte central.

a: Espesor de la probeta en la parte central.

A: Área de la sección transversal central de la probeta.

Para todos los ensayos, el contenido de humedad de las probetas se determinó por medio de la fórmula siguiente:

$$Ch = \frac{m-n}{n} \times 100 (\%)$$

Ch: Contenido de humedad

m: Peso húmedo de la probeta.

n: Peso anhidro de la probeta.

La densidad se obtiene relacionando la masa con el volumen. En nuestro estudio, se trabajó con un contenido de humedad por debajo del PSF.

3.4 Química de la Madera.

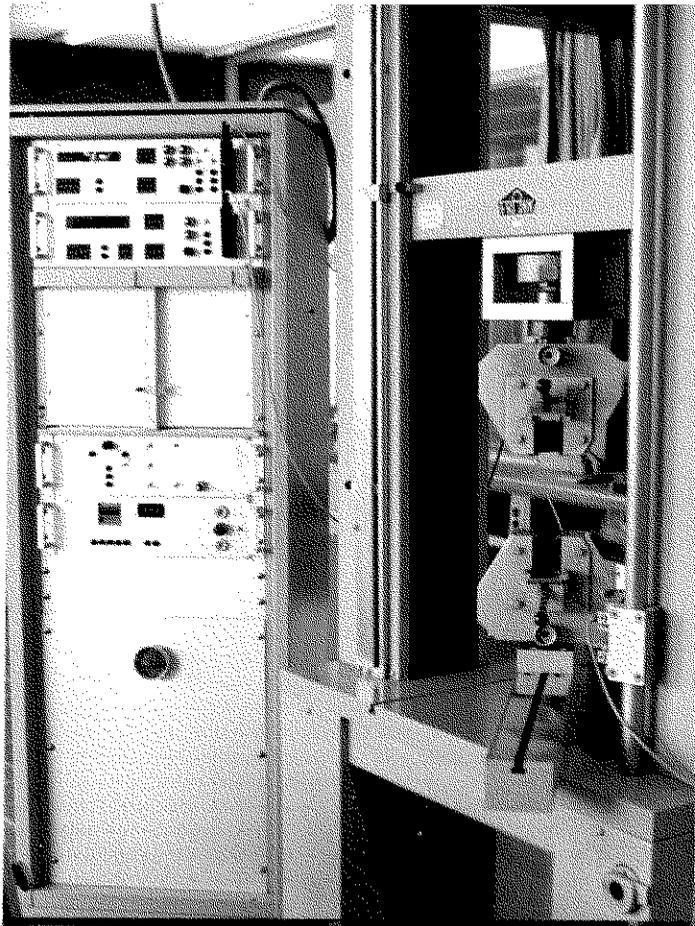
Para cada una de las determinaciones descritas a continuación, se utilizaron muestras por duplicado para una mejor evaluación de los resultados.

3.4.1 Preparación de madera para análisis químicos y determinación del contenido de humedad.

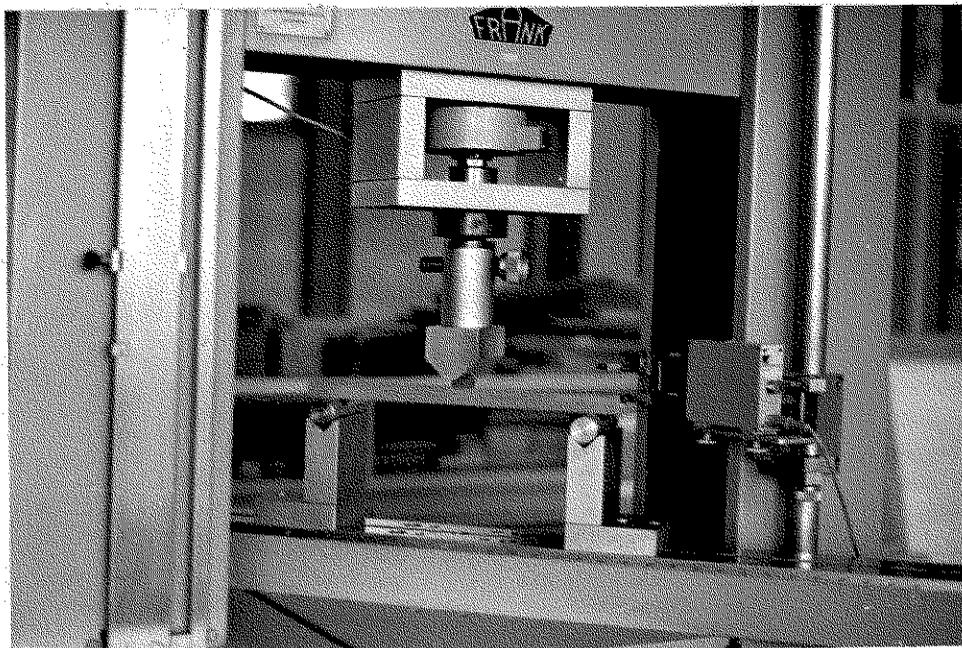
Técnica TAPPI 12 os-75

Se seleccionó un tronco que estuviera libre de defectos y de corteza. El material se llevó posteriormente a la astilladora donde se redujo a tamaño de 2-4 cm. Se procedió a hacer aserrín en un molino de martillo y se tamizó, utilizando el aserrín que pasó la malla 40 y fué retenida en la malla 60: se utilizó este tamaño para permitir una completa reacción de la madera con los reactivos utilizados en el análisis y obtener un tamaño homogéneo que permita realizar comparaciones con otros autores.

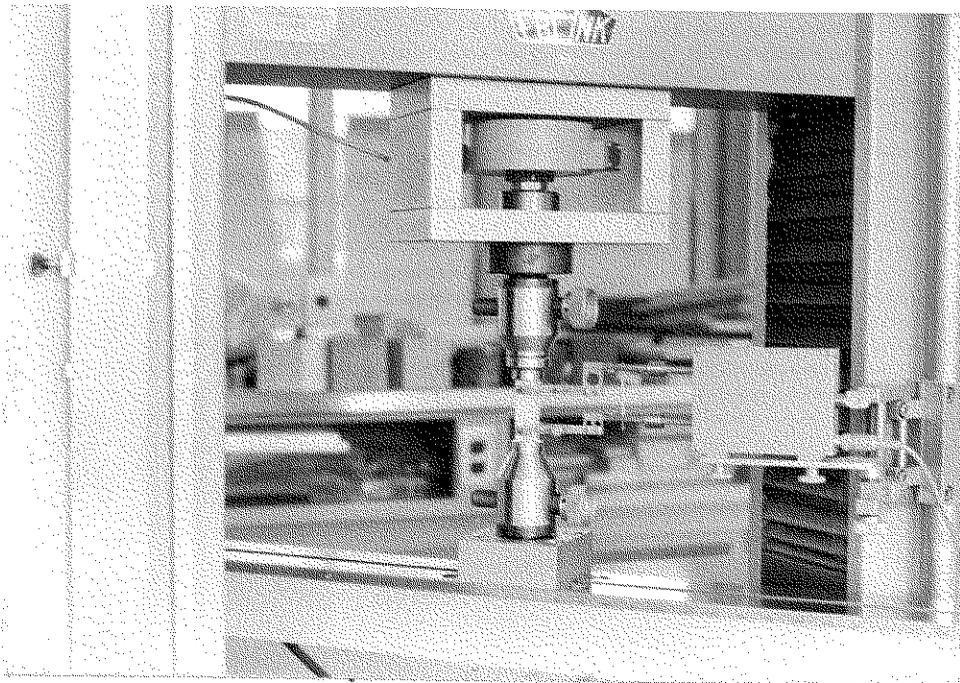
El aserrín producido se dejó secar al medio ambiente.



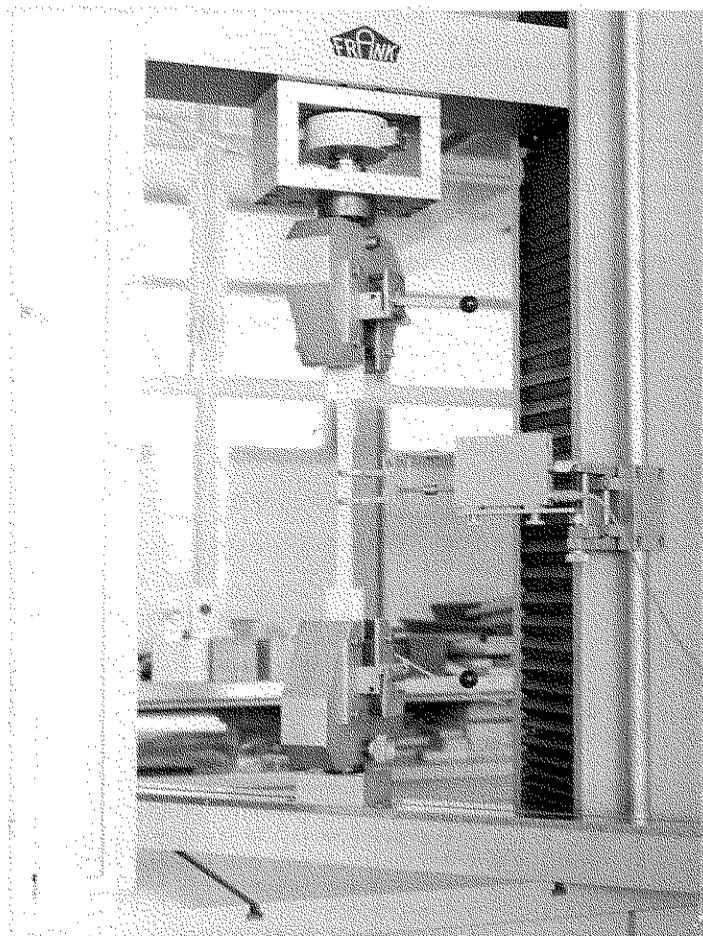
Máquina universal para ensayos físicos y mecánicos de la madera.



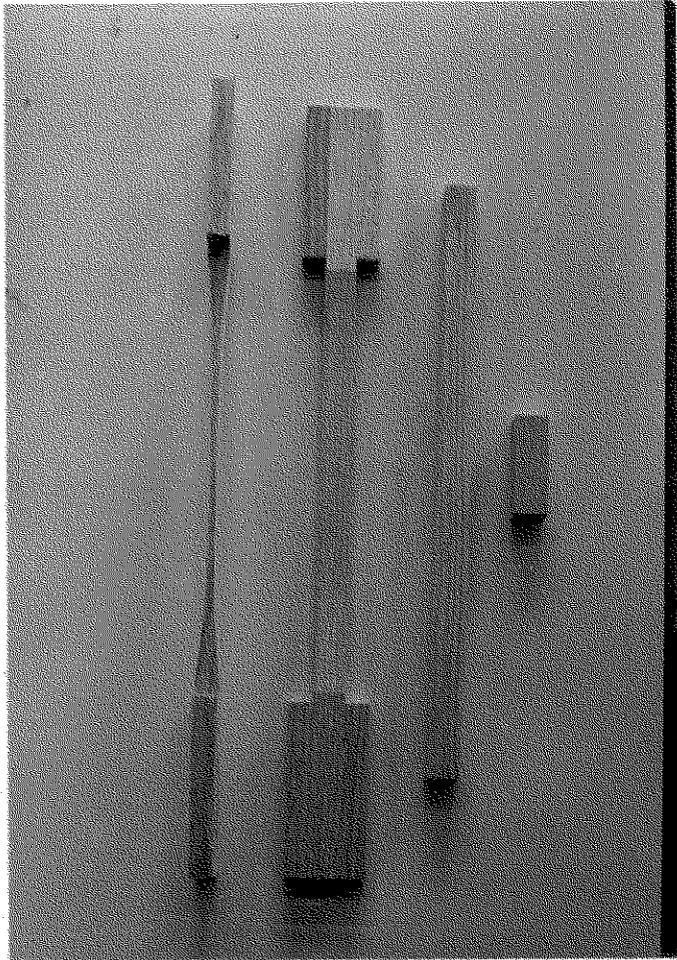
Ensayo de flexión estática.



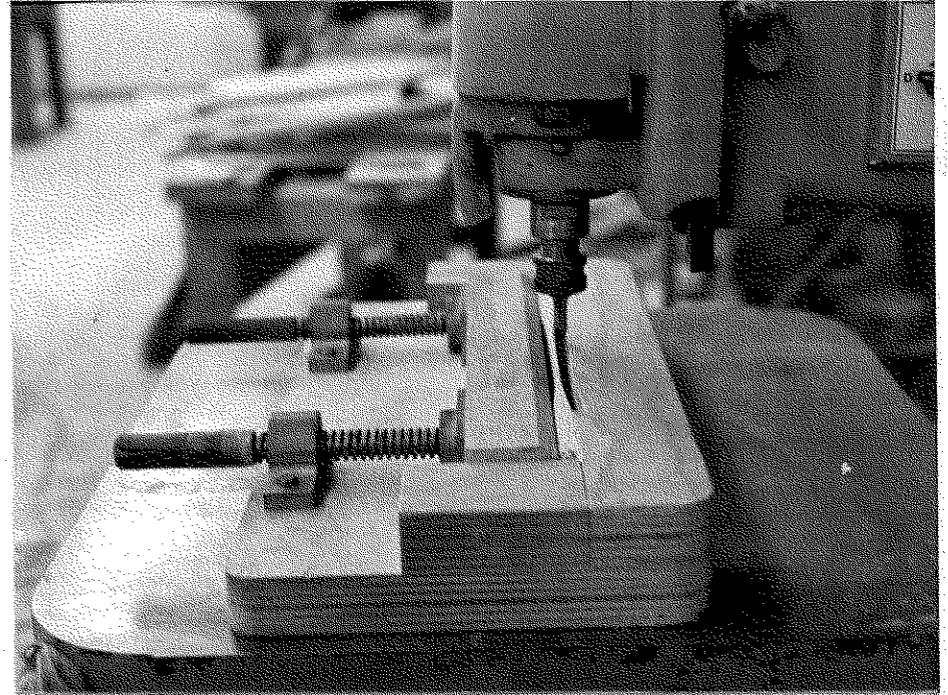
Ensayo de compresión longitudinal.



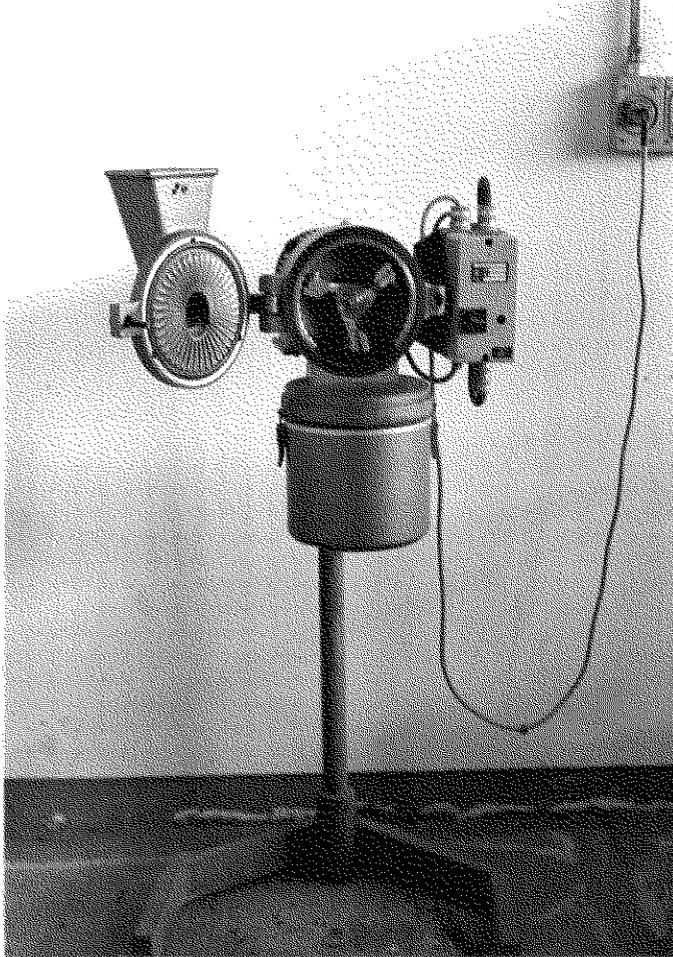
Ensayo de tensión longitudinal.



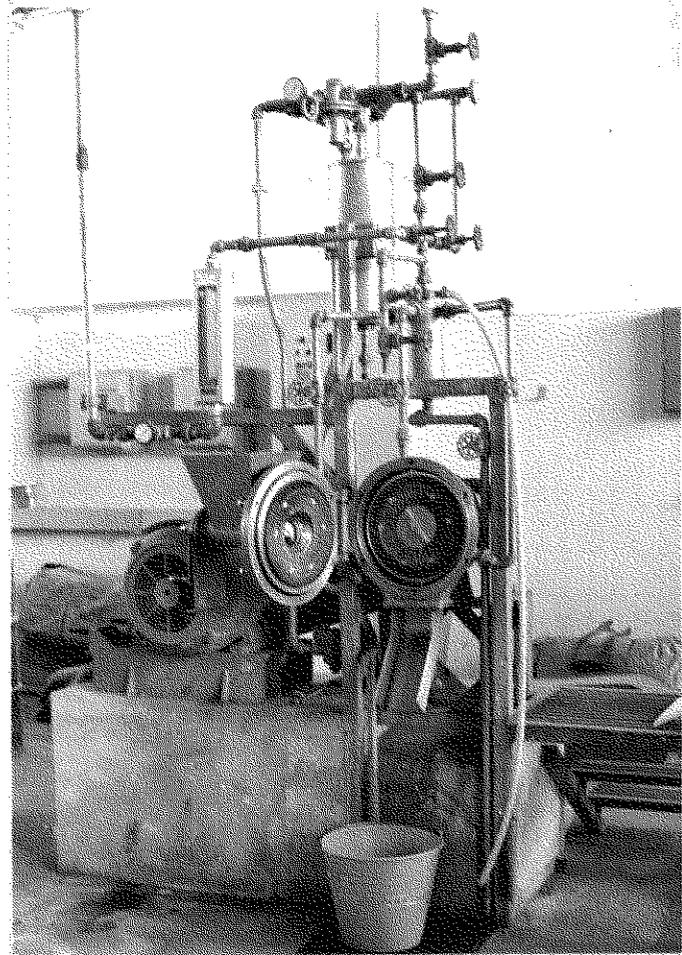
Probetas para ensayos mecánicos.



Router superior (fresadora)



Molino de martillo.



Refinador de astillas de madera y pulpa.

Preparación de madera libre de extraíbles.

Se limpió y seco el matraz de extracción soxhlet, se colocaron 50 g de material en el dedal de extracción y se introdujo dentro del soxhlet. Se adaptó el condensador de reflujo y se extrajo utilizando 200 cc de etanol-benceno durante 8 horas, al cabo del cual se lavó el material con agua destilada y se pasó a un matraz Erlenmeyer de 1000 cc, y se extrajo con 1000 cc de agua destilada, calentando el matraz por 1 hora en baño de maría. El material se dejó secar al medio ambiente y posteriormente se determinó el contenido de humedad.

Contenido de humedad.

Se pesó una muestra de 2g (madera base seca) en un pesa filtro previamente tarado, se secó durante 2 horas en un hormo a 105°C, se enfrió en un desecador y se pesó. Se repitió el calentamiento, enfriamiento y pesado hasta llegar a un peso constante (hasta que el peso no varíe más de 0.002 g).

El cálculo del contenido de humedad se realizó mediante la fórmula:

$$CH = \frac{\text{muestra húmeda} - \text{muestra seca}}{\text{muestra seca}} \times 100$$

3.4.2 Determinación de Sustancias Inorgánicas (Cenizas).

Técnica TAPPI 15 os 58

Los principales constituyentes de las cenizas son; calcio, magnesio, potasio, sulfato, fosfato, carbonatos y silicatos junto a pequeñas cantidades de -- otros elementos y radicales aniónicos. Para su determinación se utilizó una muestra de 1g (madera base seca), se introdujo en un crisol previamente tarado y se incineró en un mechero Bunsen hasta que desapareció la apariencia carbonosa, posteriormente la combustión se completó en una mufele Furnace a una temperatura de 600°C durante 3 horas, al cabo de las cuales se pasó a un desecador hasta que alcanzó la temperatura del medio ambiente y se pesó con una precisión de ± 0.002 g.

Se cálculo del % de cenizas se realizó mediante la fórmula:

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{\text{peso de ceniza}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

3.4.3 Sustancias de la Madera Solubles en Agua.

Técnica TAPPI 207 os 75

3.4.3.1 Solubilidad en agua fría.

Se pesó una muestra de 5g (madera base seca) y se colocó en un vaso de precipitados de 400 cc donde se añadió lentamente 300ml de agua destilada. Se dejó durante 48 horas en agitación constante; al cabo de las cuales el material se transfirió a crisoles de filtración de porosidad M previamente

te tarados, se enjuagó con agua destilada y se secó a 105°C (hasta peso constante) y se pesó con una precisión de ± 0.002 g.

3.4.3.2. Solubilidad en agua caliente.

Se pesó una muestra de 5g (madera base seca) la cual fué introducida en un matraz - Erlenmeyer de 250 ml; se añadieron 100 ml de agua destilada y se adaptó el condensador de reflujo. El matraz fué colocado en baño maría a temperatura de ebullición y se mantuvo durante 3 horas conservando el nivel del agua encima del nivel de la solución en el matraz. El material se transfirió a crisoles de filtración de porosidad M previamente tarados, se lavó con agua -- destilada caliente y se secó en estufa a 105°C (hasta peso constante) y se pesó con una precisión de ± 0.002 g.

Los cálculos de solubilidad en agua fría o caliente fueron realizados mediante la fórmula:

$$\% \text{ de solubilidad} = \frac{\text{peso de la muestra} - \text{p.de extraíbles}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

3.4.4. Extraíbles en Solventes Orgánicos.

Técnica TAPPI 5 os 73

3.4.4.1 Extraíbles en alcohol-benceno.

Se pesó una muestra de 4 g (madera base se

ca) y se colocó en un dedal de extracción, el cual fue introducido en el soxhlet de 100 cc previamente lavado y secado. Se preparó una solución de alcohol-benceno en proporción de 1:2 y se adicionaron 125 ml al matraz de extracción previamente tarado; se adaptó el condensador de reflujo y se realizó la extracción a una temperatura de 70°C durante 8 horas, al cabo del cual la solución fué evaporada en baño maría y colocada en una estufa de secado a una temperatura de 105°C (hasta alcanzar peso constante) y se pesó con una precisión de ± 0.002 g.

3.4.4.2 Extraíbles en etanol.

Se utilizó el mismo método descrito en 3.4.4.1 Sólo se varió la solución extractiva; ésta consistió en alcohol-etílico absoluto.

Los cálculos de extracción en solventes orgánicos fueron realizados por medio de la fórmula:

$$\% \text{ de extraíbles} = \frac{\text{peso de extraíbles}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

3.4.5 Solubilidad en Hidróxido de Sodio al 1%.

Técnica TAPPI 212 os 76.

Se pesó una muestra de 4 g (madera base seca), se colocó en un Beaker de 150 ml y se le agregaron 100 ml de solución de hidróxido de sodio al 1%. El bea

ker fué colocado en baño maría al punto de ebullición durante 1 hora. La muestra se agitó a los 10, 15 y 25 minutos después de colocada en el baño. Al finalizar la hora, el material se filtró en un crisol de porosidad M previamente tarado, se lavó con 100 ml de agua destilada caliente, luego se añadieron 25 ml de ácido acético al 10%. El material se lavó finalmente con agua caliente hasta que estuvo libre del ácido. La muestra se llevó a una estufa de secado a 105°C (hasta peso constante) y se pesó con una precisión de ± 0.002 g.

Los cálculos de la solubilidad en hidróxido de sodio al 1% fueron estimados por medio de la fórmula:

$$\% \text{ de solubilidad} = \frac{\text{peso de la muestra} - \text{peso de la muestra después de extracción}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

3.4.6 Determinación de Carbohidratos de la Madera (Holoce-lulosa).

Técnica TAPPI 9 m - 54

Se pesó una muestra de 5g (madera libre de extraíbles base seca) y se colocó en un matraz de 200 ml; se le adicionó 160 ml de agua destilada, 10 gotas de ácido acético y 1.5 g de clorito de sodio. El matraz se colocó en baño maría a una temperatura de 75°C y cada hora se le adicionaban 10 gotas de ácido acético y 1.5 g de clorito de sodio, hasta completar 3 horas para latifoliadas y 4 para coníferas, al cabo de las cuales se enfrió al medio ambiente. Posteriormente la solución se filtró con un crisol de porosidad M previamente tarado, el residuo fué lavado con agua destilada y 50 ml de acetona. El -

filtro fue llevado a una estufa de vacío donde se dejó secar durante 48 horas a una temperatura de 40°C y se pesó con una precisión de ± 0.002 g.

Los cálculos de el % de carbohidratos fueron realizados por medio de la fórmula:

$$\% \text{ de carbohidratos} = \frac{\text{peso de holocelulosa}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

3.5 Proceso de Cocción al Sulfato para Quercus castanea.

Se utilizaron 1000 g de astillas (base seca de tamaño 3 x 1.5 x 0.5 cm) a las cuales previamente se les determinó el contenido de humedad, y se colocaron en un digestor de calentamiento por gas. Se les adicionó el licor de cocción (3.85 litros) que contenía una concentración del 20% de álcali activo (Na_2O) y un 18% de sulfidez, se cerró el digestor y se empezó la cocción utilizando un grado de cocción de 1,800 unidades de factor H, 60 minutos para elevación de temperatura y 85 minutos a temperatura máxima, que fué de 175°C . Se empleó un hidromódulo (relación licor-madera de 4:1). A los 30 minutos de comenzada la cocción se abrió la válvula de escape durante 1 minuto para liberar los gases producidos durante el proceso, el cual terminó al completar las 1,800 unidades de factor H.

Posteriormente la pulpa fué lavada, desfibrada durante 1/2 hora, pasando al depurador utilizando una malla 0.4; después se procedió a secarla por centrifugación y se le determinó el contenido de humedad, rendimiento, rechazos, N° de Kappa, índice de explosión, resistencia al dobléz e índice de rasgado.

El contenido de humedad se determinó conforme al procedi-

miento establecido en la parte química. El rendimiento se obtuvo por la diferencia de peso entre el material original (astillas base seca), y la pulpa producida (base seca); el porcentaje de rechazos se determinó por diferencia de peso entre el material original, y el que luego de haberse depurado la pulpa, quedó retenido en la malla 40.

El Número de Kappa indica el grado de deslignificación que ha sufrido la madera durante el proceso de cocción; éste se determinó utilizando la fórmula siguiente:

$$K = Pf/W$$

donde $P = (b-a) N/0.1$

K: Número de Kappa.

f: Factor de corrección a un 50% del consumo de permanganato de potasio empleado.

W: Gramos de pulpa libre de humedad.

P: Centímetros cúbicos de permanganato de potasio 0.1 N consumido por el espécimen de prueba.

b: Mililitros de tiosulfato consumidos en la determinación del blanco.

a: Mililitros de tiosulfato consumidos en la prueba.

N: Normalidad del tiosulfato.

Para determinar el índice de explosión, resistencia al dobléz e índice de rasgado, se procedió a refinar la pulpa, formar una hoja de papel y acondicionarla al medio ambiente del laboratorio de pruebas, y finalmente realizar los ensayos en las máquinas destinadas para ello.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1 Resultados Experimentales de Anatomía.

Especie	Color	Olor	Sabor	Grano	Textura	Veteado	Brillo	Anillos de Crecimiento	Radios Medulares
<u>Enterolobium</u> <u>cyclocarpum</u>	Albura rosada *HUE 2.5YR 7/4, duramen castaño ligera mente amarillo *HUE 10YR 6/4	sin aroma	caracte rístico	entre- cruzado	uniforme media	pronuncia do	medio	no muy definidos	pocos visibles
<u>Pinus</u> sp	amarillo palido *HUE 2.5 Y 8/4	resi- noso	sin sabor	recto	uniforme fina	suave	medio	muy definidos	visibles
<u>Quercus</u> <u>castanea</u>	albura castaña ligeramente --- amarilla HUE *10 YR Duramen castaño grisáceo oscuro	sin aroma	sin sabor	recto	uniforme gruesa	suave	medio	no muy definidos	muy visibles

*HUE 10 YR 3/2

Tabla 4.1.1.- Características Macroscópicas de la Madera.

* Clasificación según tablas de color de Munsell (35).

F I B R A S				
DISTRIBUCION	LONGITUD (μ)	DIAMETRO (μ)	GROSOR P.C. (μ)	LUMEN (μ)
	Máximo= 2,015	Máximo= 45.95	Máximo= 12.12	Máximo= 27.40
	Media = 1,286	Media = 29.87	Media = 8.37	Media = 14.37
	Mínimo= 1,198	Mínimo= 19.02	Mínimo= 5.27	Mínimo= 7.37
	S = 198.49	S = 5.19	S = 2.07	S = 5.22
	S ² = 33,398	S = 26.93	S = 4.28	S = 27.24
	C. V. = 13.35	C. V. = 17.39	C. V. = 24.70	C. V. = 36.32
P A R E N Q U I M A				
LONGITUDINAL	RADIOS MEDULARES			
DISTRIBUCION	CLASIFICACION	ALTO (μ)	ANCHO (μ)	Nº/mm lineal
Paratraqueal	Uniseriados	Máximo= 306.18	Máximo= 47.95	Máximo= 9.00
vásicéntrico	y	Media = 196.60	Media = 35.89	Media = 7.05
y bandiali--	Poliseriados	Mínimo= 86.95	Mínimo= 18.44	Mínimo= 5.00
forme		S = 55.90	S = 6.65	S = 1.14
		S ² = 3,124.80	S ² = 44.22	S ² = 1.29
		C. V. = 28.43	C. V. = 18.52	C. V. = 16.17
V A S O S				
ORDENACION	DISTRIBUCION	CANTIDAD/mm ²	DIAMETRO (μ)	
difusa	solitarios en	Máximo= 2.00	Máximo= 343.70	
	su mayoría, -	Media = 1.44	Media = 262.21	
	algunos for--	Mínimo= 0.00	Mínimo= 196.50	
	mando grupos	S = 0.77	S = 40.67	
	en hileras --	S = 0.59	S = 1,654.04	
	radiales	C. V. = 53.47	C. V. = 15.51	

μ micras

Tabla 4.1.2.- Características de los Elementos Fibrosos de *Enterolobium cyclocarpum*.

F I B R A S				
DISTRIBUCION	LONGITUD (μ)	DIAMETRO (μ)	GROSOR P.C. (μ)	LUMEN (μ)
regular for-	Máximo= 7,290	Máximo= 63.43	Máximo= 20.53	Máximo= 38.8
mando hile--	Media = 5,752	Media = 36.08	Media = 7.77	Media = 28.36
ras radiales	Mínimo= 2,830	Mínimo= 27.74	Mínimo= 5.53	Mínimo= 15.95
perfectas	S = 1,321	S = 4.35	S = 1.08	S = 3.79
	S ² = 1754041	S ² = 18.92	S ² = 1.16	S ² = 14.36
	C. V. = 21.47	C. V. = 12.05	C. V. = 13.89	C. V. = 13.36
P A R E N Q U I M A				
LONGITUDINAL	RADIOS MEDULARES			
DISTRIBUCION	CLASIFICACION	ALTO (μ)	ANCHO (μ)	N ² /mm lineal
no se locali-	Uniseriados	Máximo= 368.90	Máximo= 30.50	Máximo= 4.0
zō		Media = 234.65	Media = 26.48	Media = 2.86
		Mínimo= 123.00	Mínimo= 23.10	Mínimo= 1.00
		S = 61.93	S = 2.02	S = 0.81
		S ² = 3,835.32	S ² = 4.08	S ² = 0.65
		C. V. = 26.39	C. V. = 7.60	C. V. = 28.39
C A N A L E S		R E S I N I F E R O S		
ORDENACION	DISTRIBUCION	N ² /mm	DIAMETRO (μ)	
Difusa	se les en---	Máximo= 2	Máximo= 316.40	
	cuentra en -	Media = 0.37	Media = 240.53	
	su mayoría -	Mínimo= 0.00	Mínimo= 192.00	
	en la sec---	S = 0.055	S = 28.67	
	ción trans--	S ² = 0.30	S ² = 821.96	
	versal	C. V. = 14.8	C. V. = 11.90	

μ micras

Tabla 4.1.3.- Características de los Elementos Fibrosos de Pinus douglasiana.

F I B R A S				
DISTRIBUCION	LONGITUD (μ)	DIAMETRO (μ)	GROSOR P.C. (μ)	LUMEN (μ)
	Máximo= 2,562	Máximo= 30.85	Máximo= 11.80	Máximo= 12.62
	Media = 1,710	Media = 22.33	Media = 8.21	Media = 9.73
	Mínimo= 1,133	Mínimo= 14.76	Mínimo= 6.74	Mínimo= 8.60
	S = 289.83	S = 4.14	S = 1.57	S = 1.88
	S ² = 84001.42	S ² = 17.13	S ² = 2.46	S ² = 3.53
	C. V. = 14.93	C. V. = 18.52	C. V. = 19.12	C. V. = 19.32
P A R E N Q U I M A				
LONGITUDINAL	RADIOS MEDULARES			
DISTRIBUCION	CLASIFICACION	ALTO (μ)	ANCHO (μ)	N ^o /mm lineal
Paratraqueal	Uniseriados	Máximo= 6,736.0	Máximo= 919.80	Máximo= 16
vásicéntrico	y	Media = 3,883.0	Media = 356.00	Media = 12
difuso y con	Poliseriados	Mínimo= 1,038.0	Mínimo= 24.34	Mínimo= 8
fluente.	muy anchos	S = 1,070.0	S = 160.15	S = 2.73
Apotraqueal		S ² = 1164241.0	S ² = 25648.0	S ² = 7.45
difuso y en		C. V. = 27.78	C. V. = 44.90	C. V. = 22.75
bandas				
V A S O S				
ORDENACION	DISTRIBUCION	N ^o /mm ²	DIAMETRO (μ)	
difusa	formando hi-	Máximo= 9	Máximo= 397.09	
	leras radia-	Media = 6.57	Media = 296.12	
	les a veces	Mínimo= 2.00	Mínimo= 149.93	
	solitarios -	S = 2.16	S = 53.26	
	o en agrupa-	S ² = 4.66	S ² = 2,836.62	
	ciones	C. V. = 32.87	C. V. = 17.98	

μ micras

Tabla 4.1.4.- Características de los Elementos Fibrosos de Quercus castanea.

Espece	Coeфициente de Rigidez	Coeфициente de Flexibilidad	Coeфициente de Peteri	Relación Runkel	Clasificación Runkel
<u>Enterolobium cyclocarpum</u>	0.56	0.48	43.05	1.16	regular para papel
<u>Pinus douglasiana</u>	0.43	0.78	159.42	0.54	buena para papel
<u>Quercus castanea</u>	0.73	0.43	76.57	1.68	regular para papel

Tabla 4.1.5.- Índice de Calidad de Pulpas.

4.2 Resultados Experimentales de Ensayos de Propiedades Físico-Mecánicas.

PARAMETRO ESTADISTICO	N/mm^2 RESISTENCIA A LA FLEXION	MODULO DE ELASTICIDAD	g/cm^3 DENSIDAD	% CONTENIDO DE HUMEDAD
Media	39.4	3721.9	.3200	7.84
Desviación estándar	6.8	788.69	.0400	0.38
Varianza	46.24	622031.91	.0022	0.14
Coefficiente de variación (%)	17.4	21.2	14.0	5.0

Tabla 4.2.1.- Descripción estadística de resultados de ensayos de flexión estática en Enterolobium cyclocarpum.

PARAMETRO ESTADISTICO	N/mm^2 RESISTENCIA A LA COMPRESION	MODULO DE ELASTICIDAD	g/cm^3 DENSIDAD	% CONTENIDO DE HUMEDAD
Media	24.0	3839.0	.3200	7.84
Desviación estándar	3.5	894.3	.0400	0.38
Varianza	12.25	779772.49	.0022	0.14
Coefficiente de variación (%)	14.7	22.4	14.0	5.0

Tabla 4.2.2.- Descripción estadística de resultados de ensayos de compresión longitudinal en Enterolobium cyclocarpum.

PARAMETRO ESTADISTICO	N/mm^2 RESISTENCIA A LA TENSION	MODULO DE ELASTICIDAD	g/cm^3 DENSIDAD	% CONTENIDO DE HUMEDAD
Media	48.11	4343.0	.3200	12.59
Desviación estándar	2.8	1082.0	.0400	0.53
Varianza	7.84	1170724	.0022	0.29
Coefficiente de variación (%)	5.7	24.9	14.0	4.0

Tabla 4.2.3.- Descripción estadística de resultados de ensayos de tensión paralela a la fibra en Enterolobium cyclocarpum.

PARAMETRO ESTADISTICO	N/mm^2 RESISTENCIA A LA FLEXION	MODULO DE ELASTICIDAD	g/cm^3 DENSIDAD	% CONTENIDO DE HUMEDAD
Media	91.5	9894.05	0.5288	10.07
Desviación estándar	15.03	2218.0	0.0738	0.49
Varianza	225.90	4919524	0.0054	0.24
Coefficiente de variación (%)	16.4	22.4	13.0	4.0

Tabla 4.2.4.- Descripción estadística de resultados de ensayos de flexión estática en Pinus

PARAMETRO ESTADISTICO	N/mm^2 RESISTENCIA A LA COMPRESION	MODULO DE ELASTICIDAD	g/cm^3 DENSIDAD	% CONTENIDO DE HUMEDAD
Media	41.9	10140.6	0.5288	10.07
Desviación estándar	8.2	2432.0	0.0738	0.49
Varianza	67.24	5914624	0.0054	0.24
Coefficiente de variación (%)	14.8	23.9	13.0	4.0

Tabla 4.2.5.- Descripción estadística de resultados de ensayos de compresión longitudinal en Pinus

PARAMETRO ESTADISTICO	N/mm^2 RESISTENCIA A LA TENSION	MODULO DE ELASTICIDAD	g/cm^3 DENSIDAD	% CONTENIDO DE HUMEDAD
Media	104.06	12677.2	0.5288	11.77
Desviación estándar	17.7	2660.9	0.0738	0.13
Varianza	315.77	7080388.8	0.0054	0.0912
Coefficiente de variación (%)	17.0	21.0	13.0	1.0

Tabla 4.2.6.- Descripción estadística de resultados de ensayos de tensión paralela a la fibra en Pinus

PARAMETRO ESTADISTICO	N/mm ² RESISTENCIA A LA FLEXION	MODULO DE ELASTICIDAD	g/cm ³ DENSIDAD	% CONTENIDO DE HUMEDAD
Media	126.6	14150.0	0.7942	9.88
Desviación estándar	13.4	1455.9	0.0365	0.52
Varianza	13.4	2119644.8	0.0013	0.27
Coefficiente de variación (%)	10.6	10.3	4.0	5.0

Tabla 4.2.7.- Descripción estadística de resultados de ensayos de flexión estática en Quercus castanea.

PARAMETRO ESTADISTICO	N/mm ² RESISTENCIA A LA COMPRESION	MODULO DE ELASTICIDAD	g/cm ³ DENSIDAD	% CONTENIDO DE HUMEDAD
Media	69.9	13524.9	0.7942	9.88
Desviación estándar	9.9	2222.6	0.0365	0.52
Varianza	9.9	4939950.7	0.0013	0.27
Coefficiente de variación (%)	14.3	16.4	4.0	5.0

Tabla 4.2.8.- Descripción estadística de resultados de ensayos de compresión longitudinal Quercus castanea.

PARAMETRO ESTADISTICO	N/mm ² RESISTENCIA A LA TENSION	MODULO DE ELASTICIDAD	g/cm ³ DENSIDAD	% CONTENIDO DE HUMEDAD
Media	167.8	19407.8	0.7942	12.57
Desviación estándar	20.7	1370.0	0.0365	0.36
Varianza	20.7	1876900.	0.0013	0.13
Coefficiente de variación (%)	12.3	7.1	4.0	2.0

Tabla 4.2.9.- Descripción estadística de resultados de ensayos de tensión paralela a la fibra en Quercus castanea.

4.3 Resultados Experimentales de Química.

	Contenido de Humedad %	Substancias Inorgánicas (Cenizas) %	E x t r a í b l e s					Holocelulosa %
			Agua Fría %	Agua Caliente %	Alcohol Benceno %	Etanol %	NAOH %	
<u>Enterolobium cyclocarpum</u>	3.3	0.95	12.62	24.41	10.24	11.13	30.03	81.70
<u>Pinus douglasiana</u>	12.5	0.18	6.40	12.16	9.77	10.15	24.15	71.2
<u>Quercus castanea</u>	7.0	0.92	6.20	17.53	3.32	3.56	27.51	85.0

Tabla 4.3.1.- Extraíbles y Carbohidratos de la Madera.

4.4 Resultados Experimentales de Pulpeo.

	Contenido de Humedad %	Rendimiento %	Rechazos %	Nº de Kappa	Indice de Explosión Kgf·m ² /cm ² kg	Resistencia al Doblez Nº	Indice de Rasgado 100gf·m ² /g
<u>Quercus</u> <u>castanea</u>	12.5	47.8	0.6	26.5	29.08	43.40	49.56

Tabla 4.4.1.- Propiedades de la Pulpa al Sulfato.

5. DISCUSION DE RESULTADOS

5.1 Anatomía de la Madera.

El cuadro 4.1.1 muestra los resultados de la caracterización macroscópica de la madera de las especies en estudio.

En Enterolobium cyclocarpum posee un color mucho más oscuro que el Quercus y el Pinus, esto indica que posee una mayor cantidad de extraíbles, lo cual fué comprobado al realizar el análisis químico.

Aunque su hilo es ligeramente entrecruzado, no tendrá serios problemas en la trabajabilidad de la madera. Púes su inclinación respecto al eje axial del árbol es poco significativa. El veteado pronunciado es muy apreciado, por lo que su madera se puede utilizar en decoraciones puertas, muebles y chapas. Para exteriores posee además sustancias alcaloides que irritan las vías respiratorias.

El Pinus tiene un color muy claro, pero su olor resinoso demuestra la existencia de extraíbles, especialmente compuestos resínicos. No tendrá problemas en la trabajabilidad de la madera pues su hilo es recto su textura es uniforme y fina. Los anillos de crecimiento están muy bien definidos, por lo que al realizar cortes tangenciales se producen bonitos veteados utilizados para decoraciones.

El Quercus castanea posee un color intermedio entre el Pinus y el E. cyclocarpum por lo cual se dedujo tendría extraíbles en cantidades intermedias. Pór medio del color es posible inferir si una especie posee mayor cantidad de extraíbles que otra, pero debe ser comprobado mediante análisis químicos.

Los radios son muy visibles a simple vista de lo cual se deduce tendrá problemas durante el secado, pues es en los

radios donde se producen primeramente las agrietaduras.

Pérez y Carmona (41), realizaron estudios sobre la influencia de las características macroscópicas en las propiedades tecnológicas de la madera y llegaron a la conclusión - que el hilo o grano y textura son las que más influyen, especialmente en la trabajabilidad de la madera. Por lo que estudios macroscópicos de la madera proporcionan datos preliminares sobre el comportamiento de la madera durante operaciones como cepillado, torneado, y canteado.

La tabla 4.1.2 muestra los resultados de la caracterización microscópica de la madera de Enterolobium cyclocarpum.

La longitud de sus fibras es corta y es fácilmente diferenciable, pues sufre un adelgazamiento brusco hacia los extremos, característica que sirve para su identificación.

Las paredes celulares son gruesas y bien formadas. Posee abundante parénquima paratraqueal vasicéntrico, característica indeseable en la producción de papel, uso que no debe dársele pues es una madera escasa y posee un alto valor comercial.

Los radios poliseriados están conformados por hileras de 2 - 3 células parenquimáticas, predominando los biseriados.

El alto de los radios es muy bajo, su anchura moderadamente angosta y el número por milímetro lineal es numeroso. Los poros son muy grandes y poco numerosos, de forma elíptica, en ocasiones presentan tilosis. Su ordenación es difusa.

Comparando estos resultados con los obtenidos por Huerta (24) sólo se tienen pequeñas variaciones en la longitud y diámetro de la fibra, esto es debido a que en la longitud

de la fibra es donde se produce la mayor variabilidad, lo cual influye notablemente en la obtención de la media poblacional.

La tabla 4.1.3 muestra los resultados de la caracterización microscópica de la madera de *Pinus douglasiana*.

La longitud de sus fibras es larga; esto es bueno para la producción de papel ya que las fibras se entrelazan mejor entre sí proporcionando mayor resistencia al papel. Posee numerosas punteaduras areoladas y en el corte radial se producen campos de cruzamiento donde se localizaron punteaduras pinoides que caracterizan a este género.

El diámetro de la fibra se considera grueso lo cual influye negativamente en la rigidez y movilidad de las fibras para fabricar papel, pero proporcionan mayor resistencia al rasgado, doblez y tensión.

Posee una marcada diferencia entre madera temprana y tardía. No se localizó parénquima longitudinal, característica deseable en la producción de papel.

El alto de los radios es bajo, su anchura moderadamente angosta y el número por milímetros lineal es poco. Posee muy pocos canales resiníferos por mm^2 por lo que se considera como especie poco productiva de resina.

Comparando estos resultados con los obtenidos por Huerta (18) Pérez y Olvera (36) quienes estudiaron la anatomía de diferentes especies del género *Pinus*, los resultados en general están dentro del rango establecido para coníferas.

La tabla 4.1.4 muestra los resultados obtenidos de la caracterización microscópica de la madera de *Quercus castanea*.

La longitud de sus fibras comparada con la de otras latifoliadas es larga. Las fibras se consideran gruesas. El parénquima paratraqueal es vasicéntrico, difuso y confluyente, el apotraqueal se puede encontrar en bandas y difuso, características importantes para su identificación. En el material disperso se localizó gran cantidad de parénquima, lo cual es indeseable en la producción de papel.

Los radios son uniseriados y poliseriados, predominando los uniseriados. Los radios poliseriados son excesivamente anchos y altos, se observan a simple vista como gruesas líneas en el corte transversal de la madera. Esta característica permite identificar el género Quercus. El número por milímetros lineal es numeroso.

Los poros son muy grandes y poco numerosos, de forma elíptica y ordenación difusa, presentando tilosis en su interior por lo que su madera es resistente a la pudrición. Según Pérez (40) esto evita la evaporación del contenido en las tonelerías, por lo que su madera es ampliamente utilizada en la añejación de licores.

Comparando estos resultados con los obtenidos por Pérez (40) y Montes (32) quienes estudiaron la anatomía de varias especies del género Quercus, los resultados en general están dentro del rango establecido para Quercus.

La identificación de la madera a nivel de género se puede lograr empleando conjuntamente características como olor, sabor, veteado, altura y ancho de rayos, contenido y distribución de parénquima, distribución de los poros, puntaduras, que es donde existen características específicas para cada género. Barajas (3) y Torres (51) realizaron claves de identificación hasta el nivel de especies, basadas en características anatómicas de la madera. En Nicaragua existen problemas con la identificación y clasificac---

ción de especies por lo que la realización de claves anatómicas es un buen auxiliar en botánica sistemática.

La tabla 4.1.5 muestra los resultados sobre el índice de calidad de las pulpas, de lo cual se deduce lo siguiente:

El Enterolobium cyclocarpum posee los coeficientes más bajos de las tres especies en estudio. Su resistencia al rasgado, explosión, doblez, tensión, esbeltez y densidad fue baja, por lo que se considera inadecuada en la fabricación de papel.

El Pinus mostró los coeficientes más altos y sus propiedades de resistencia son las mejores. Esto comprueba que es madera óptima en la producción de papel.

El Quercus castanea presentó valores intermedios. Sus propiedades de resistencia son buenas en la obtención de pulpas para la fabricación de papel. Representa un gran potencial de utilización por proporcionar fibra corta utilizada en mezclas de pulpa con coníferas que poseen fibra larga.

5.2 Propiedades Físicas y Mecánicas.

Enterolobium cyclocarpum.

De las tres especies en estudio, ésta madera fue la que presentó las propiedades físico-mecánicas más bajas; desde luego, esto se justifica si tomamos en cuenta la densidad de sólo 0.32 g/cm^3 , comparada con 0.52 g/cm^3 y 0.79 g/cm^3 del Pinus y del Quercus respectivamente. Prácticamente aquí podemos observar la fuerte influencia de la densidad sobre las propiedades físico-mecánicas de la madera.

El módulo de elasticidad determinado tanto por ensayo de -

flexión como de tensión y compresión, presenta un coeficiente de variación ligeramente alto, comparado con los rangos que para tal efecto nos muestran las normas DIN e ISO. Desde luego, aquí cabe la aclaración de que se trata de una madera tropical, y que como tal, presenta ciertas irregularidades en su crecimiento, mismas que repercuten precisamente en sus propiedades elásticas.

Por lo que respecta a las propiedades de resistencia a la flexión, compresión y tensión, de las tablas 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3 respectivamente, observamos que sólo los valores de flexión presentan una variación ligeramente superior al rango máximo; sin embargo, comparados éstos resultados con los citados por Huerta (24), resultan ser prácticamente iguales. Esto quiere decir que las irregularidades de crecimiento de la especie son mucho más significativas para el ensayo de flexión que para los de compresión y tensión.

Pinus douglasiana

En las tablas 4.2.4, 4.2.5 y 4.2.6, se presentan los resultados de los ensayos de flexión, compresión y tensión respectivamente.

Los resultados obtenidos de los diferentes ensayos físicos y mecánicos muestran que se trata de una madera situada a un nivel medio en cuanto a sus propiedades de resistencia y elásticas; no obstante ser muy superior en éste aspecto a la madera de *Enterolobium*, aún se muestra en desventaja frente a la madera de *Quercus*.

Pese a haber elegido y ensayado probetas con orientación - correcta tanto de anillos anuales como de dirección de fibras, y similar contenido de humedad, las propiedades elásticas y de resistencia presentan un coeficiente de variación ligeramente superior al rango esperado; ésto quizás - puede atribuirse a la variación de la densidad que presentaron las diferentes probetas ensayadas. Sin embargo, los valores aquí presentados, tienen mucha similitud con los - obtenidos por Hinojosa (21).

Quercus castanea

El Quercus, como una de las más caracterizadas maderas duras, presenta los valores más elevados de resistencia de - acuerdo a los resultados obtenidos, presentados en las tablas 4.2.7, 4.2.8 y 4.2.9.

Se puede decir que los coeficientes de variación de las -- propiedades de resistencia para los diferentes ensayos se ubican por abajo de los rangos máximos específicos para -- estas especies y estos ensayos.

Respecto a los valores medios de resistencia a la flexión, compresión y tensión, éstos se encuentran dentro de los -- rangos normales para la especie. Sin embargo, en lo que - respecta a los valores medios del módulo de elasticidad de terminados por flexión y compresión, se considera deberían ser más elevados; mientras que el módulo de elasticidad ob- tenido por ensayo de tensión, se puede considerar en el lí- mite máximo, que otros autores han determinado. Fuentes (17).

5.3 Química de la Madera.

La tabla 4.3.1 muestra los resultados de los análisis químicos realizados en la madera de las especies en estudio.

El Enterolobium cyclocarpum posee un porcentaje de cenizas bajo en comparación con otras latifoliadas, que en algunos casos llega a ser de 3% - 5%. El contenido de extraíbles en agua caliente es proporcionalmente alto, y sólo es superado por la extracción en NaOH al 1%, cuyo porcentaje indica un contenido total alto de extraíbles. Los carbohidratos se encuentran en los rangos establecidos para latifoliadas. No se localizaron otros estudios sobre esta especie por lo que los resultados se consideran preliminares, y se recomienda proseguir estudios cualitativos de los extraíbles tanto de la madera como de la corteza, pues los desechos de la tala y aserraderos pueden utilizarse para la extracción de sustancias químicas ya que presenta porcentajes superiores al Pinus y al Quercus.

El Pinus presenta un contenido de cenizas bajo característico de este género. El contenido de extraíbles en agua, solventes orgánicos y NaOH fueron los más bajos de las especies en estudio, por lo que se estima posee una menor cantidad de extraíbles totales en su madera. Presentó el menor contenido de carbohidratos (holocelulosa) y se infiere contienen mayor cantidad de lignina y menor cantidad de hemicelulosas.

Comparando estos resultados con los obtenidos por Browning (6) y el IMCyP (25) que realizaron análisis sumativos de los extraíbles de varias especies de coníferas, las variaciones significativas se presentan en el contenido de extraíbles en agua caliente. Esto se debe a que en el presente análisis no se realizaron extracciones secuenciales.

El Quercus posee poca cantidad de cenizas. En agua caliente y en NaOH se observó la mayor cantidad de extraíbles. El total de extraíbles resultó ser el intermedio entre Pinus y E. cyclocarpum. El contenido mayor de holocelulosa induce que poseerá buenos rendimientos en la producción de pulpa para papel.

Comparando estos resultados con los de Villalvazo (53) y Sandoval (49) quienes estudiaron la composición química de diferentes especies del género Quercus, la mayor variación se encontró en el contenido de extraíbles en agua.

5.4 Pulpeo.

La tabla 4.4.1 muestra los resultados obtenidos de la cocción al sulfato y algunas propiedades físicas de la pulpa.

Respecto al rendimiento, que fue de 47.8% el proceso de muestra que la madera fue levemente atacada. El porcentaje de rechazos 0.6% se considera dentro de los rangos aceptables al compararlos con datos obtenidos por Ramírez (43) quien realizó estudios sobre procesos de cocción especiales para la obtención de pulpa a partir de encino. El N^o de Kappa indica una buena deslignificación sin ataque severo de los carbohidratos. Las propiedades de resistencia al dobléz, rasgado y explosión muestran resultados menores al compararlos con datos obtenidos por Villalvazo (53), quien realizó estudios sobre procesos de cocción a la sosa y al sulfato del género Quercus en condiciones similares.

Nicaragua no posee fábricas de papel, pero posee un gran potencial que fue estudiado por Valladares y Porras (52) quienes llegaron a la conclusión que "las posibilidades que existen en el área de desarrollar una industria que produzca papeles y cartones, son muy grandes sobre todo si se considera que Honduras, Guatemala y Nicaragua están bien dotadas de recursos forestales adecuados para soportar una industria de este tipo". Por lo cual es factible que en el futuro, en Nicaragua se utilicen las maderas en la producción de pulpas, representando el encino una especie con buenas propiedades para producir papel.

6. CONCLUSIONES.

- El Enterolobium cyclocarpum según se determinó en el estudio anatómico, tiene un alto contenido de parénquima, fibras cortas y bajo índice de calidad de pulpas, que lo hace inadecuado para la fabricación de papel; por sus bajos valores de densidad, elasticidad y resistencia a los esfuerzos mecánicos, no es recomendable su uso en estructuras de soporte en la construcción. Sin embargo, su veteado, color y textura le proporcionan altos valores estéticos apreciados en la fabricación de muebles, decoraciones, puertas. También posee un considerable contenido de extraíbles que le proporcionan durabilidad natural, lo que sumado a sus bajos índices de contracción e hinchamiento, lo hacen óptimo para su utilización en exteriores.
- El Pinus por sus características microscópicas, como fibras largas, muy poco parénquima y alto índice de calidad de pulpas, lo hacen óptimo para la fabricación de papel. Sus propiedades elásticas y de resistencia lo sitúan por arriba de valores intermedios, que convierten a esta especie apta para la construcción, fabricación de chapas, muebles, juguetes, artículos deportivos, artesanías y muchos otros usos. Contiene extraíbles en regular cantidad, principalmente del tipo resínico, ampliamente utilizado en la industria.
- El Quercus, caracterizado por tener fibras largas en comparación con otras latifoliadas, y un índice de calidad de pulpas intermedio, puede ser apto para la fabricación de papel. Sus valores en propiedades físicas y mecánicas son los más altos de las tres maderas ensayadas, por lo que su madera ofrece un gran potencial de utilización en la fabricación de juguetes, mangos para herramientas, interiores, muebles, piezas torneadas, postes, elementos estructurales, piezas de maquinaria.
- El conocimiento de la estructura, propiedades tecnológicas y químicas de nuestras maderas, constituye las bases para un -

aprovechamiento integral y una adecuada utilización de especies que por tradición o desconocimiento no se les ha dado el uso correcto.

- Por la importancia económica que tienen las especies estudiadas, se justifica ampliar su estudio, partiendo de la metodología empleada en éste trabajo, pues en su mayor parte resulta de aplicación práctica en las condiciones actuales de nuestro país.
- La información bibliográfica recabada constituye una base importante para posteriores estudios relacionados con la anatomía, propiedades físicas y mecánicas, secado, y química de la madera.

R E S U M E N

Se realizó un estudio integral de la madera de tres especies de potencial importancia económica para Nicaragua: Enterolobium cyclocarpum, Pinus y Quercus castanea; este estudio comprende cuatro aspectos fundamentales.

La primera parte comprende la caracterización macro y microscópica de la madera, para lo cual se utilizaron tablillas de xiloteca, cortes anatómicos y material disperso.

La segunda parte trató sobre las principales propiedades físicas y mecánicas de la madera, utilizándose probetas de acuerdo a estipulaciones establecidas por las normas internacionales DIN. Se determinó la densidad, el contenido de humedad, la resistencia a la flexión tangencial a los anillos de crecimiento, a la compresión longitudinal, y a la tensión longitudinal.

La tercera parte abarcó un análisis químico que comprendió sustancias extraíbles y carbohidratos de la madera (holocelulosa), utilizando para ello las especificaciones recomendadas por las técnicas TAPPI.

Finalmente, en la última parte, a través de un proceso de cocción al sulfato, se determinaron las propiedades de la madera del género Quercus en la producción de pulpa química para papel.

A partir de los aspectos tratados, se concluye que el conocimiento de las características y propiedades de nuestras maderas sienta las bases para una adecuada explotación y una integral utilización de este importante recurso natural.

7. BIBLIOGRAFIA.

- 1.- ACOSTA, C.M. 1964. Análisis químico y estudio de algunas - de las características anatómicas de 23 especies de madera, Tesis Profesional, México, D. F. 57 p.
- 2.- American society for testing and materials, 1965. Standard methods of testing small clear, sepcimens of timber, book of ASTM standard, part 16, p. 143-152.
- 3.- BARAJAS, M. J.; Et al. 1981. La madera y su uso en la construcción, tomo 3, Instituto Nacional de Investigaciones -- sobre Recursos Bióticos, 2º Edición, Jalapa, Veracruz, --- México. 70 p.
- 4.- BERTONI, V.; JUAREZ, V. M. 1980. Comportamiento de nueve - especies forestales tropicales plantadas en 1971 en el campo experimental "El Tormento", Ciencia Forestal 5 (25), -- México, D. F. p. 3-40.
- 5.- Beuth-Vertriebs. Deutsche Normen-Fachnormenausschus Holz - im DNA; Normblätter DIN: 52, 1488 --- 52191,
- 6.- BROWNING, B.L. 1963. The chemistry of wood, tomo I, interscience publishers, U.S. 680 p.
- 7.- CASTAÑEDA, H.R. 1986. Composición química de la madera de tres especies tropicales de Jalisco, Tesis Profesional, -- Guadalajara, Jalisco, México. 67 p.
- 8.- CORE, H.A.; Et al. 1976. Wood structure and identification syracuse wood science series 6, 2º edition.
- 9.- ECHENIQUE, M.R. 1971 Características de la madera y su uso en la construcción, CNIDS. serie: Maderas de México. México, D. F. 173 p.

- 10.- FAO. 1981 Los recursos forestales de la América Tropical, informe técnico, Roma, Italia 343 p.
- 11.- FAO. 1954 Tercera conferencia sobre tecnología de la madera informe, Anexo I p. 73-80.
- 12.- FAO. 1953 Food and agriculture organization of the united national, raw materials, formomore paper. Roma, Italia --- 171 p.
- 13.- FLORES, R.L. 1971 Notas del simposium sobre encinos, México y sus bosques 10 (6). p. 19-24.
- 14.- Forest Biology subcommitle N° 2, pulwood properties; response of processing and of paper quality to their varia--- tion, TAPPI 43 (11) 40-64.
- 15.- Forest Service Departament of Agriculture. 1971 OAK symposium proceidings, U.S. 161 p.
- 16.- FORREST, F.S.; MERTERS, T.R. 1980. Anatomía vegetal, editorial LIMUSA, México, D. F. 209 p.
- 17.- FUENTES, F.J.; MONTES, E. 1986. Propiedades físicas y mecánicas de la madera, IMCyP, no publicado.
- 18.- GRIGORIEV, M.A. 1985. Estudio de la madera para ebanistería y carpintería, editorial MIR. Moscú.
- 19.- HERNANDEZ, S.R. 1982. Especies arbóreas forestales susceptibles de aprovecharse como forraje, INIF, Ciencia Forestal, Vol. 6 N° 29, p. 31-39.
- 20.- HILTON, N.R. 1975. Un valioso auxiliar en la investigación de la celulosa y el papel; el microscopio, gerencia de investigaciones Argentina, S.A. Buenos Aires. 25 p.

- 21.- HINOJOSA, R.J. 1986. Estudio tecnológico de Pinus douglasiana y Pinus leiophylla para proponer estudios racionales, Tesis Profesional, Morelia, Mich., México. 38 p.
- 22.- HOIHEISEL, H. Estipulaciones para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de la madera, parte I, boletín --- INFLAIC, N° 16 p. 80-85.
- 23.- HUERTA, C.J. 1978. Anatomía de la madera de 12 especies de coníferas mexicanas, SARH, INIF, Boletín técnico N° 51, -- México, D.F. 56 p.
- 24.- HUERTA, C.M. 1983. La parota, Enterolobium cyclocarpum --- (Jacq) Griseb, como un recurso forestal de las zonas cálido-húmedas en Jalisco, Tesis Profesional, Guadalajara, Jalisco, México. 86 p.
- 25.- IMCyP. 1978 Química y tecnología de los carbohidratos de la madera, Memoria. 191 p.
- 26.- KOLLMAN, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones, traducción de la 2a. Edición Alemana por el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, y el Servicio de la Madera, Vol. I, Madrid, España. 675 p.
- 27.- KOLLMAN, F. et al. 1975. Principles of wood science and -- technology, Vol. II wood based materials. Berlin Germany. 690 p.
- 28.- LIBBY, E.C. 1976. Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel Tomo I, editorial continental, México, D.F. 533 p.
- 29.- MARTINEZ, M. 1977. Los encinos de México, Comisión Forestal serie técnica manejo N° 8, Michoacán, México. 230 p.

- 30.- MARTINEZ, M. 1948. Los pinos mexicanos, Editorial Botas, --
2a. Edición, México, 621 p.
- 31.- MARTINEZ, M. 1959. Plantas útiles de la flora mexicana, --
Editorial Botas, México. 621 p.
- 32.- MONTES, R.E. 1982. Estudios anatómicos de encinos mexica--
nos para apoyo a la industria de celulosa y papel. Guadala
jara, Jalisco, México. 14 p.
- 33.- MORRISON, R.T.; BOYD, R.N. 1973. Química orgánica, fondo --
educativo interamericano. USA. 1,291 p.
- 34.- MOTOLCSY, G.A. Correlation of fiber dimension and wood pro
perties with the fisical properties of kraft pulp Abies --
balsamea, TAPPI 58 (4), p. 136-141.
- 35.- MUNSELL color company. 1975. Munsell soil color charts, --
Baltimore, Mariland. 17 p.
- 36.- National academy of sciences. 1979. Tropical legumies re--
sources for the future, Washington, D.C. 240 p.
- 37.- ORTEGA, B. 1981. El potencial económico de los recursos fo
restales de Nicaragua a través del aprovechamiento de bos
ques. Actas del II seminario nacional de recursos natura--
les y del ambiente "Edgar Mungía Alvarez". IRENA, Managua,
Nicaragua. 321 p.
- 38.- PANSHIN, A.J.; Et al. 1964. Texbook of wood technology, --
Vol I, 2a. edition MC GRAW-HILL. New York.
- 39.- PENNINGTON, T.D.; SARUNKAN, J. 1968. Manual para la identi
ficación de campo de los principales árboles tropicales de
México INIF, FAO. México, D.F. 413 p.

- 40.- PEREZ, O.C. 1974. Anatomía de la madera de cinco especies de encinos de Durango, SARH, INIF, boletín técnico N° 43 - México, D.F. 48 p.
- 41.- PEREZ, O.C.; CARMONA, V.T. 1979. Influencia del hilo en algunas características tecnológicas de la madera, SARH, --- INIF, boletín técnico N° 60 México, D.F. 46 p.
- 42.- PEREZ, O.C.; OLVERA, C.P. 1981. Anatomía de la madera de 16 especies de coníferas, SARH, INIF, Boletín técnico N° - 69 México, D.F. 111 p.
- 43.- RAMIREZ, C.F. 1979. Estudios sobre la aplicación de procesos de cocción especiales para obtención de pulpa de encino, Tesis de Postgrado, Guadalajara, Jalisco, México. 61 p.
- 44.- RAMOS, N.H.; DIAZ, G.V. 1981. Instrucciones para recolectar muestras de madera para estudios tecnológicos, SARH, - Boletín divulgativo N° 54, México, D.F. 15 p.
- 45.- RUIZ, S.A. 1980. Química y tecnología de las sustancias -- extraíbles de la madera, Guadalajara, Jalisco, Méx. 49 p.
- 46.- SALLENAVE, P. 1955. Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux de l'Union Française, publications N° 8 du centre technique forestière tropical, p. 5-127.
- 47.- SANCHEZ, Q. 1979. La flora del valle de México, editorial Herrero, México, D.F. 519 p.
- 48.- SANDERMAN, H.W. 1968. Las industrias químicas de la madera y economía de estas industrias en América Latina, Turrialba Costa Rica, 88 p.
- 49.- SANDOVAL, O.A. 1979. Estudio analítico de las sustancias -- extraíbles de cuatro especies del género Quercus, Tesis -- Profesional 77 p.

- 50.- SCHWAB, E. 1978. Das Stehvermögen von Holz, Holz-zentral -blatt 104 (6) Hamburg-Reinbek, p. 70-73.
- 51.- TORRES, L.R. 1970. Descripción comparativa de 25 especies de madera tropicales de importancia económica, Tesis Profesional, 103 p.
- 52.- VALLADARES, J.; PORRAS, C. 1982. Situación actual y perspectivas de desarrollo de la industria celulósica en Centroamérica OEA. Ciencia Interamericana Vol. 22, Washington, D. C. p. 30-38.
- 53.- VILLALVAZO, N.J.; FAIX, O. 1981. Los encinos mexicanos --- como materia prima para la fabricación de celulosa y papel, suplemento técnico IMCyP. 8 p.
- 54.- VILLARREAL, G.L. 1980. Índice de calidad de pulpas, departamento de pulpa y papel, Cereti, Guadalajara, Jal., Méx. 24 p.
- 55.- WAGENFUHR, R. 1966. Anatomie des Holzes, VERFACHBUCHVERLG Germany, 377 p.
- 56.- WANGAARD, F.F. 1980. The mechanical proprieties of wood, - John Wiley and sons inc. New York.
- 57.- WENZL, H.F. 1970. The chemical technology of wood, academic press New York, U.S. 692 p.
- 58.- WOLF, F.; Cruz, D.L. 1982 Análisis estructural y anatómico de la madera, UNANL. 40 p.
- 59.- WOOD, L.W. 1962. Relation of strenght of wood to duration of load, report N° 1916, U.S. Forest. Prooducts Laboratory.
- 60.- ZOBEL, B.J. 1970. Developing trees in the southeastern --- United States with wood qualities most desirables for paper TAPPI, 53 (12) p. 2,320-2,325.

S.A. de C.V.

TESIS PROFESIONALES

TESIS • MEMORIAS • INFORMES

8 DE JULIO No. 13

(ENTRE P. MORENO Y MORELOS)

TELS. 14 - 01 - 22 y 13 - 61 - 42

GUADALAJARA, JAL.

PASAMOS SU TESIS
EN MÁQUINA XER



USAMOS EQUIPOS XEROX Y OFFSET

- TRANSCRIPCIONES
- FOTOCOPIAS
- FOTODUPLICACIONES
- FOTOMONTAJES
- FOTOMAGNETISMO
- IMPRESIONES

HELIOGRAFICAS

- COPIAS BOND
- PAPELERIA PARA SU EMPRESA
- REDUCCIONES
- AMPLIFICACIONES