

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente

DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE TRES
ESPECIES EXOTICAS, CRECIENDO EN LA RESERVA
FORESTAL MALLECO, SECTOR LOS GUINDOS



GUSTAVO ENRIQUE GUTIERREZ JARA

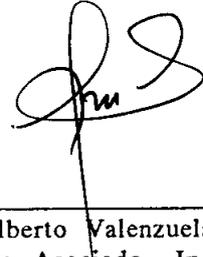
Memoria de título presentada
a la Facultad de Ciencias
Forestales de la Universidad
de Concepción para optar al
título de Ingeniero Forestal

Concepción, Chile

1994

DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE TRES
ESPECIES EXOTICAS, CRECIENDO EN LA RESERVA
FORESTAL MALLECO, SECTOR LOS GUINDOS

Profesor Asesor



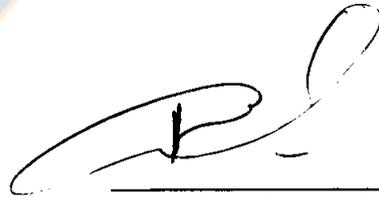
Luis Alberto Valenzuela Hurtado,
Profesor Asociado, Ingeniero de
Ejecucion en Maderas, Master in
Wood Sc., Ph D. in Wood Sc. and
Technology.

Profesor Co-asesor



Roberto Melo Sanhueza
Profesor Titular, Ingeniero Civil
Quimico.

Director Departamento



Fernando Drake Aranda
Profesor Asociado, Ingeniero Forestal.

Decano Facultad



Dr. Jaime Augusto Millan Herrera,
Profesor Titular, Ingeniero Forestal.

Por su fé, comprensión y constante apoyo...



..... a Gustavo e Hilda, mis padres.

Agradecimientos.

El autor desea expresar sus más sinceros agradecimientos a las instituciones y personas que hicieron posible éste trabajo, especialmente a:

- CONAF, Temuco.

- Departamento de Ingeniería en Maderas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Bio Bio.

- Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Bio Bio.

- Laboratorio de Resistencia de Materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción.

- Don Roberto Melo, Profesor asesor, por sus sabios consejos, experiencia, comprensión y amistad.

- Don Luis Valenzuela, Profesor asesor, por su dedicación y amistad.

- La Sra. Cecilia Serra por su gran disposición y ayuda.

- Mis amigos, los que siempre estuvieron presentes.

- Patricia, por su constante apoyo.

INDICE DE MATERIAS

| CAPITULOS | | PAGINA |
|-----------|---|--------|
| I | INTRODUCCION | 1 |
| II | REVISION BIBLIOGRAFICA | 4 |
| | 2.1 Generalidades | 4 |
| | 2.1.1 Madera | 4 |
| | 2.1.2 Mecánica de la madera | 10 |
| | 2.1.3 Factores que afectan las propiedades de la madera libre de defectos | 16 |
| | 2.1.3.1 Tiempo de aplicación de la carga | 17 |
| | 2.1.3.2 Forma de aplicación de la carga | 19 |
| | 2.1.3.3 Densidad | 20 |
| | 2.1.3.4 Humedad | 24 |
| | 2.1.3.5 Espesor del anillo de crecimiento | 25 |
| | 2.2 Descripción del área y especies en estudio | 27 |
| | 2.2.1 Estado legal | 27 |
| | 2.2.2 Ubicación geográfica | 27 |
| | 2.2.3 Deslindes generales | 28 |
| | 2.2.4 Vías de acceso | 28 |
| | 2.2.5 Clima | 29 |
| | 2.2.6 Descripción general de suelos | 32 |
| | 2.2.7 Descripción de las especies | 34 |
| | 2.2.7.1 Clasificación taxonómica | 34 |
| | 2.2.8 Descripción general de las especies | 35 |
| | 2.2.8.1 <u>Cupressus lusitanica</u> Mill. | 35 |
| | 2.2.8.2 <u>Picea ovobata</u> Ledeb. | 39 |
| | 2.2.8.3 <u>Pinus pinaster</u> Ait. | 44 |
| III | MATERIALES Y METODO | 49 |
| IV | RESULTADOS | 57 |
| V | DISCUSION | 59 |
| | 5.1 Efecto de la humedad | 59 |
| | 5.2 Propiedades mecánicas | 61 |
| VI | CONCLUSIONES | 71 |

| CAPITULOS | | PAGINA |
|-----------|--------------------|----------|
| VII | RESUMEN SUMMARY | 72 72 |
| VIII | BIBLIOGRAFIA | 73 |
| IX | APENDICES | 81 |
| X | ANEXOS | 88 |



INDICE DE TABLAS

| TABLA N° | | PAGINA |
|------------------------|--|--------|
| <u>En el texto</u> | | |
| 1 | Características mecánicas de <u>Cupressus lusitanica</u> de distinta procedencia. | 39 |
| 2 | Características mecánicas de <u>Picea ovobata</u> de distinta procedencia. | 43 |
| 3 | Características mecánicas de <u>Pinus pinaster</u> de distinta procedencia. | 48 |
| 4 | Resumen de los resultados de ensayos mecánicos al 12 % de humedad. | 57 |
| 5 | Resumen de los resultados de ensayos mecánicos en estado verde. | 58 |
| 6 | Porcentaje de disminución de las propiedades mecánicas por efecto de la humedad. | 59 |
| <u>En el apéndice.</u> | | |
| 1A | Resultados de ensayos mecánicos en <u>Pinus pinaster</u> al 12 % de humedad. | 82 |
| 2A | Resultados de ensayos mecánicos en <u>Picea ovobata</u> al 12 % de humedad. | 83 |
| 3A | Resultados de ensayos mecánicos en <u>Cupressus lusitanica</u> al 12 % de humedad. | 84 |
| 4A | Resultados de ensayos mecánicos en <u>Pinus pinaster</u> en estado verde. | 82 |
| 5A | Resultados de ensayos mecánicos en <u>Picea ovobata</u> en estado verde. | 83 |
| 6A | Resultados de ensayos mecánicos en <u>Cupressus lusitanica</u> en estado verde. | 84 |

INDICE DE FIGURAS

| FIGURA N° | PAGINA |
|--|--------|
| <u>En el texto</u> | |
| 1 Corte esquemático de madera de "White pine" | 6 |
| 2 Curva normal de tensión unitaria v/s deformación. | 14 |
| 3 Curva esfuerzo v/s deformación con zonas principales, según Díaz-Vaz y Cuevas, 1982 | 15 |
| 4 Efecto del tiempo en la resistencia mecánica de la madera, según Díaz-Vaz y Cuevas, 1986 | 18 |
| 5 Curvas de predicción de propiedades de esfuerzo de la madera, según Panshin y De Zeeuw, 1980 | 21 |
| 6 Variación de la densidad con la altura en el árbol, según Trendelenburg, 1939 | 23 |
| 7a Esquema de corte en la obtención de viguetas. | 51 |
| 7b Proceso seguido para la obtención de las probetas. | 54 |
| 8 Curvas promedio para el ensayo de flexión estática al 12 % de humedad. | 63 |
| 9 Curvas promedio para el ensayo de flexión estática en estado verde. | 65 |
| 10 Curvas promedio para el ensayo de compresión paralela al 12 % de humedad. | 66 |
| 11 Curvas promedio para el ensayo de compresión paralela en estado verde. | 67 |
| 12 Tensión máxima de cizalle al 12 % de humedad y en estado verde | 69 |
| 13 Dureza Janka al 12 % de humedad y en estado verde. | 70 |

FIGURA N°

PAGINA

En el anexo.

| | |
|---|----|
| 1B Plano de la Reserva Forestal Malleco. | 88 |
| 2B Esquema del ensayo de flexión estática. | 93 |
| 3B Esquema del ensayo de compresión paralela. | 94 |
| 4B Esquema del ensayo de cizalle paralelo. | 95 |
| 5B Esquema del ensayo de dureza. | 96 |
| 6B Coeficiente plástico de Janka. | 98 |



I. INTRODUCCION.

La actividad forestal chilena gira en torno a dos especies principales, que son, el Pinus radiata, el cual constituye el 63 % de las plantaciones realizadas el año 1993, y el Eucalyptus globulus, con un 31 % de las plantaciones del mismo año, que alcanzaron a 133.853 há.(Chile Forestal N° 213). La forestación con otras especies llegó solo al 6 % en éste año, esta distribución ha provocado que la mayor cantidad de estudios esté dirigida al conocimiento de las características y mejor utilización de estas dos especies principales, motivado principalmente por toda la actividad económica que se mueve detrás de ellas. Es necesario destacar que las características de monocultivo de los bosques exóticos chilenos es consecuencia, en parte, de la política forestal implementada en el año 1975 con el Decreto 701, y por otro lado, consecuencia de la gran adaptabilidad del pino radiata a las diferentes condiciones climáticas y de suelo de nuestro país. Sin embargo, en orden a proteger esa gran masa boscosa, constituida principalmente por una sola especie y que por las características propias de un monocultivo está propensa a la rápida distribución de cualquier agente dañino de tipo biológico, es necesario aumentar el concurso de otras

especies en el ambiente forestal. Se hace necesario, entonces, investigar en todos los niveles que permitan conocer a fondo las características y propiedades de nuevas especies, ya sea que se pretendan introducir o que ya estén establecidas en el país. Es debido a esto que CONAF-Temuco, con la participación de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción, inició un serie de estudios de un grupo de especies exóticas que crecieron en el sector Los Guindos de la Reserva Forestal Malleco.

Dentro de los estudios se consideró conveniente conocer algunas características mecánicas de las especies en estudio, seis en total, de las cuales, tres se presentan en este trabajo, Pinus pinaster, Cupressus lusitanica y Picea ovobata.

Objetivo del estudio.

- Determinar el comportamiento mecánico en flexión estática, compresión paralela a las fibras, cizalle paralelo a las fibras y dureza Janka en estado verde y al 12 % de humedad de las especies antes mencionadas.



II. REVISION BIBLIOGRAFICA.

2.1 Generalidades

2.1.1 Madera

La madera es un producto sólido proveniente de organismos vivos, los árboles, y como tal, su estructura no es comparable a otros materiales sólidos de composición virtualmente homogénea; sin embargo, esto no es una limitante para que sea usada como un elemento estructural, como parte de muebles o simplemente como elemento decorativo. Esta característica, la heterogeneidad, determina que bajo ciertas condiciones ambientales su comportamiento sea variado, dependiendo del plano en que éste sea medido. Su comportamiento es higroscópicamente inestable y anisotrópicamente viscoelástico.

Fisicamente, viscosidad se define como la propiedad que tiene un fluido de resistir un movimiento interno, y la elasticidad como la propiedad que tienen los cuerpos para recobrar su primera forma cuando deja de obrar la fuerza que la modificaba.

Luego la viscoelasticidad, que es el comportamiento de muchos polímeros superiores, se explica por la estructura heterogénea, amorfa y cristalina de la pared celular (Benavente, 1993).

La madera es un material orgánico, no homogéneo; sus componentes son, principalmente, celulosa y lignina, siendo la celulosa el material estructural de la célula y la lignina el material rigidizante y ligante entre las células (Pérez, 1978).

Las diferencias que se presentan entre las células constituyen, en parte, el origen de la heterogeneidad de la madera (Fig 1). Así, también, en parte explican el origen del comportamiento anisotrópico del material leñoso (Díaz-Vaz y Cuevas, 1986).

Las células de la madera son huecas, de una longitud que varía desde 1 a 8 milímetros, aproximadamente, y se encuentran distribuidas tanto vertical como horizontalmente en el xilema. Esta estructura celular es, en gran medida, la responsable de las diferentes respuestas estructurales dadas por la madera, según sea el sentido y características de la sollicitación. Este comportamiento se denomina anisotropía (Pérez, 1978).

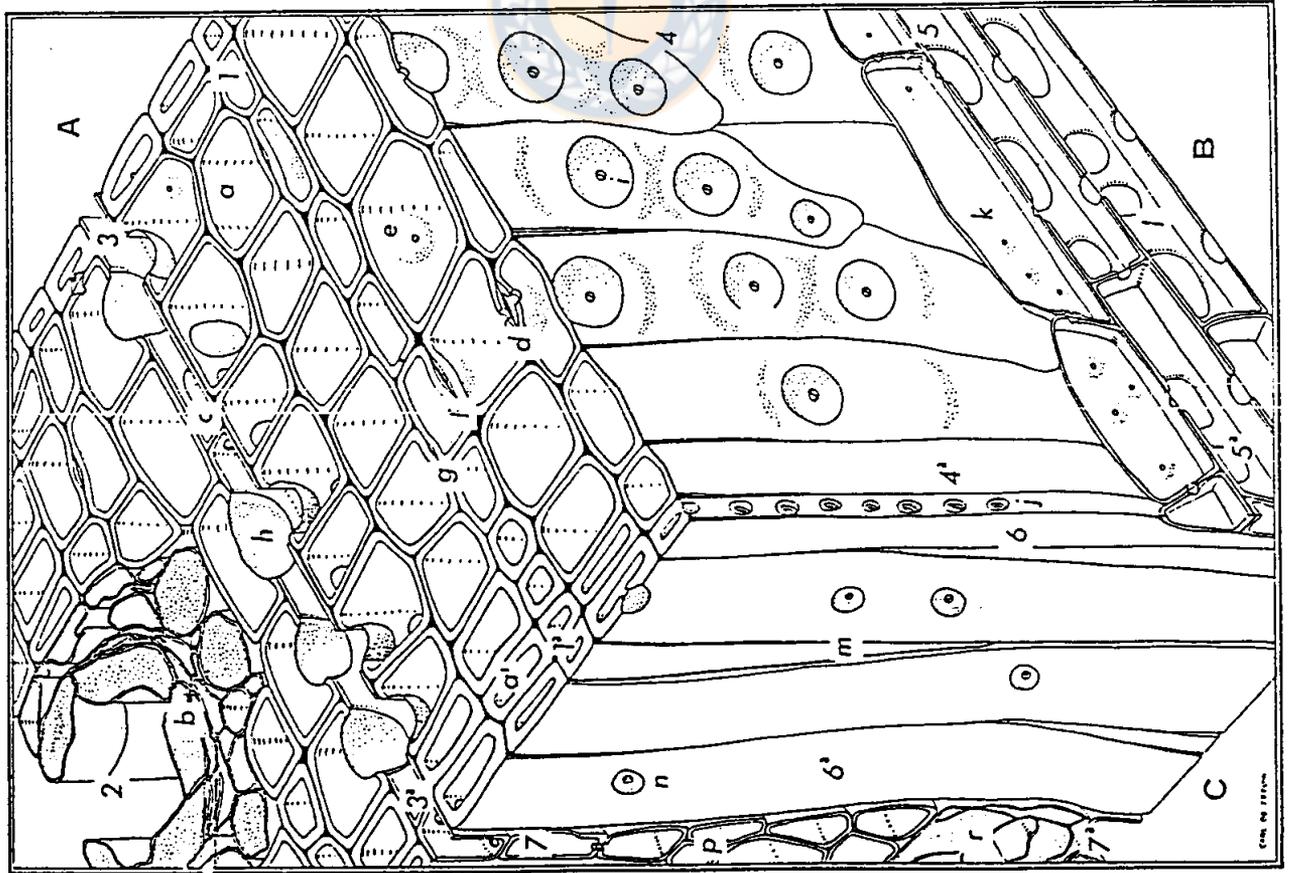


Figura 1. Corte esquemático de madera de White pine (*Pinus strobus* L.).

Superficie A. 1-1a, porción de un anillo anual; 2, canal resinífero; 3-3a, rayo; a-a', traqueidas longitudinales; b, células epiteliales; c, rayo celular; d, punteadura en vista seccional media, punteadura bordeada en el final de la pared de una traqueida longitudinal en vista superficial; e, punteaduras pareadas en sección, mostrando el margen del torus pero de tal forma que las aberturas de las punteaduras no son incluidas en el plano de la sección; f, par de punteaduras en que ni las aberturas ni el torus se muestran; g, par de punteaduras como ventanas entre traqueida longitudinal y rayo parenquimático.

Superficie B. 4-4a, porción de traqueida longitudinal en aspecto radial; 5-5a, parte superior de un rayo uniseriado; i, punteadura bordeada sobre la pared radial de una traqueida longitudinal de madera temprana; j, pequeña punteadura bordeada sobre la pared radial de una traqueida longitudinal de madera tardía, en la misma vista como en i; k, traqueidas radiales; l, células de un rayo parenquimático.

Superficie C. 6-6a, parte de una traqueida longitudinal en aspecto tangencial. 7-7a, parte de un rayo xilemático; m, final en punta de una traqueida longitudinal; n, una pequeña punteadura bordeada sobre la pared tangencial de una traqueida longitudinal de madera tardía; p, células de un rayo parenquimático; r, canal resinífero transversal (Panshin y De Zeeuw, 1980).

Sin embargo, aún cuando la respuesta de la madera es distinta según la sollicitación a que se vea expuesta, es posible conocer sus propiedades mecánicas, siendo necesario realizar una mayor cantidad de ensayos y un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

La importancia de estas investigaciones resalta por si misma, pues, antes de seleccionar maderas para propósitos específicos se debe pasar por la etapa preliminar del conocimiento de sus propiedades. Para satisfacer esta exigencia, los métodos de ensaye deben ser debidamente estudiados, de manera que los resultados obtenidos sean comparables y, además, se constituyan en una base sana de juicio para analizar los méritos de una especie dentro de una utilización dada.

En gran parte, las propiedades mecánicas de la madera determinan el valor de ésta para construcciones y otros usos innumerables; en realidad, no existe un solo uso de la madera que no dependa, por lo menos en un cierto grado de una o más de ellas (Torricelli, 1941).

Las propiedades mecánicas de la madera o de cualquier otro material, miden su capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas (Torricelli, 1941; Pérez, 1978;

Karsulovic, 1982). Se entiende por fuerza externa cualquier sollicitación que actuando exteriormente altere el tamaño o las dimensiones de un material o simplemente lo deforme (Torricelli, 1941; Pérez, 1978; Díaz-Vaz y Cuevas, 1986).

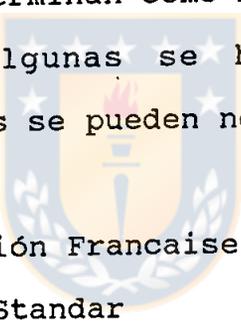
Es posible, también, observar otro tipo de fuerzas actuando en la madera; estas son las fuerzas internas que se generan cuando ésta pierde humedad por debajo del punto de saturación de las fibras; bajo este punto comienza un proceso de contracción que, dependiendo de la disposición de los anillos y la dirección de las fibras, reducirán sus dimensiones, la deformarán y posiblemente la agrieten, pero estas fuerzas están relacionadas principalmente con sus propiedades físicas, y por lo tanto, no están comprendidas entre las que se refieren estrictamente a resistencia (Pérez, 1978).

Ahora, para lograr una adecuada utilización de los distintos tipos y especies madereras, es necesario tener un conocimiento de sus diferentes propiedades, entre las cuales, las que tienen mayor importancia son las propiedades mecánicas.

La determinación de las propiedades mecánicas se puede lograr sólo a través de experimentación, ya sea con madera

de dimensiones normales o con probetas de dimensiones reducidas, que resultan más manejables y permiten un mejor control de las variables que intervienen en la realización de los ensayos (Norambuena, 1967).

Para la realización de los distintos ensayos y debido a la importancia que involucra poder establecer comparaciones entre las especies y entre los ensayos realizados en una misma especie creciendo en distintos puntos, los países han creado Normas que determinan como ha de efectuarse cada uno de los ensayos. Algunas se han hecho mundialmente conocidas. Entre estas se pueden nombrar las siguientes:



AFNOR : Association Francaise du Normalization
BS : British Standar
DIN : Deutsche Industrie Norm
ASTM : American Society for Testing of Material

En Chile existen las Normas Chilenas originadas por el Instituto Nacional de Normalización (INN), y derivadas, principalmente, de las Normas ASTM y de las COPANT 459-1972.

Las Normas especifican los siguientes ensayos para la caracterización mecánica de la madera:

- Flexión estática y dinámica.
- Compresión paralela y perpendicular a las fibras.
- Cizalle radial y tangencial, paralelo a las fibras.
- Tracción paralela a las fibras.
- Clivaje radial y tangencial.
- Dureza.



2.1.2 Mecánica de la madera

Según Hooke (1678), citado por Timoshenko, (1989), la deformación es proporcional a la carga o peso impuesto a un material, y queda expresado de acuerdo a la siguiente expresión:

$$D = a * C$$

donde:

D = Deformación generada por una carga determinada.

C = Fuerza o carga.

a = Factor de proporcionalidad.

De acuerdo a Bach y Bauman (1923), citados por Kollmann y Côté (1968), la siguiente ley exponencial es válida para todos los materiales de construcción, con excepción del mármol y la goma.



$$H = a * P^n$$

donde:

$$H = \frac{\text{Alargamiento o acort. } \Delta l}{\text{long. Original}} = \frac{\Delta l}{l} = \text{Elongación relativa}$$

P = Esfuerzo o tensión en kg /cm² u otra unidad de fuerza por unidad de área.

a y n son constantes de cada material.

Procesos experimentales han probado que $n > 1$ para fierro fundido, cobre, cinc fundido, granito, rocas y concreto; y $n < 1$ para cuero y cuerda de cañamo. Para otros materiales, como por ejemplo acero, aluminio y madera $n=1$ con una alta seguridad. En este caso se cumple la ley de Hooke, en que la deformación es proporcional a la carga (Kollmann y Côté, 1968).

Considerando que para la madera $n=1$, se llega a la relación básica $H = a \cdot P$. De aquí se puede obtener el factor de proporcionalidad, a , que es la deformación por unidad de esfuerzo, es decir :



$$a = H / P$$

Normalmente en la literatura técnica se usa el valor recíproco $1/a = E$. E , es llamado Módulo de Elasticidad o Módulo de Young (Kollmann y Côté, 1968)

El módulo de elasticidad expresa en forma hipotética, la fuerza necesaria para estirar una barra al doble de su longitud inicial (Torricelli, 1941; Kollmann y Côté, 1968; Díaz-Vaz y Cuevas, 1982; Díaz-Vaz y Cuevas, 1986).

Es hipotético, porque, para muchos materiales el esfuerzo a la tensión es mucho más bajo que el módulo de elasticidad (Kollmann y Côté, 1968).

El módulo de elasticidad en sí es una medida de la rigidez de la madera (Pérez, 1978), y se calcula por la razón entre el esfuerzo por unidad de superficie y la deformación por unidad de longitud.

Rigidez, es la propiedad por medio de la cual un cuerpo solicitado por fuerzas externas tiende a retener su tamaño y formas naturales (Torricelli, 1941; Pérez, 1978; Díaz-Vaz y Cuevas, 1982).

Este cálculo se obtiene del gráfico tensión unitaria vs deformación indicado en la figura 2. En ella se puede apreciar que la relación entre la tensión unitaria y la deformación es proporcional desde el inicio de la aplicación de la carga hasta el límite elástico. Sobre este punto y hasta el límite de rotura, el incremento de la deformación deja de ser proporcional, es decir, es mayor que el incremento en la carga (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982).

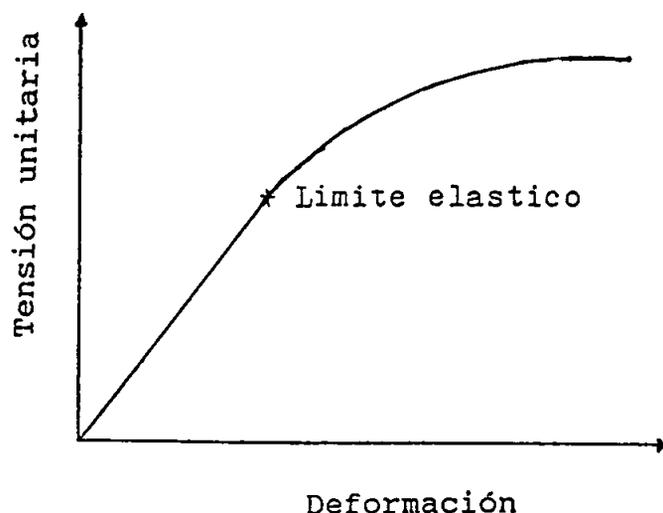


FIGURA 2. Curva normal de tensión unitaria vs deformación.

Como ya se mencionó anteriormente, el módulo de elasticidad es una medida de la rigidez de la madera; efectivamente constituye un número indicativo de la rigidez y sólo se aplica a condiciones dentro de la zona elástica (Pérez, 1978).

La zona elástica, en un gráfico esfuerzo v/s deformación (fig 3), queda definida como la zona de la curva en que la pendiente es constante hasta el punto en que la deformación aumenta en mayor proporción que la carga que se aplica, punto que se denomina limite elástico (Pérez, 1978; Díaz-Vaz y Cuevas, 1982).

Al aplicar cargas que producen tensiones que sobrepasan el límite elástico, una parte de las deformaciones producidas tienen características de permanentes, es decir, el cuerpo deformado recupera sólo parcialmente su forma original (Díaz-Vaz y Cuevas, 1986).

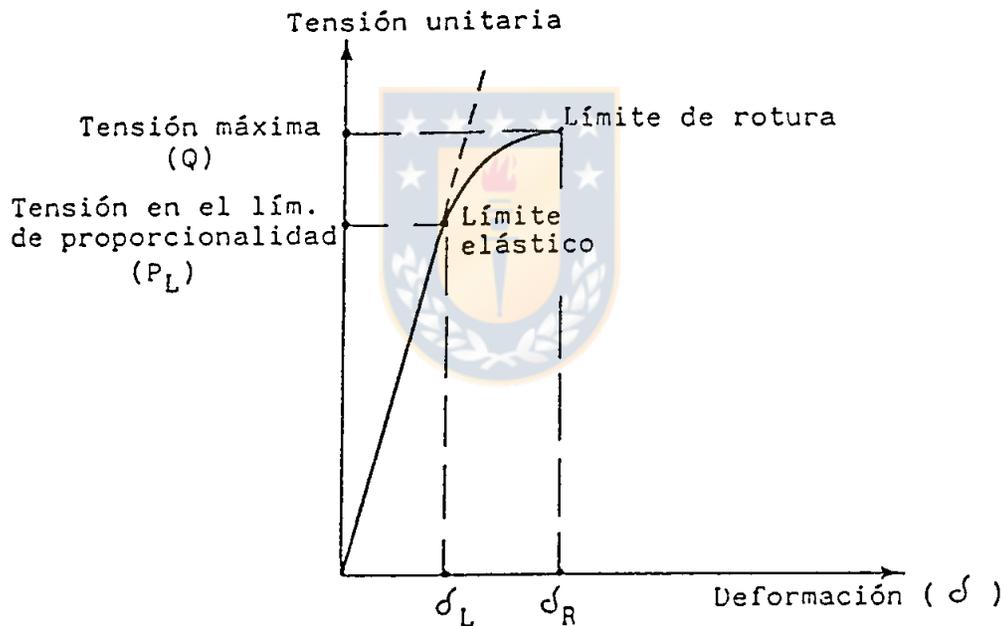


FIGURA 3. Curva esfuerzo vs deformación con zonas principales. Según Díaz-Vaz y Cuevas, (1982).

2.1.3 Factores que afectan las propiedades mecánicas de la madera libre de defectos.

Existe una serie de factores que afectan a las propiedades mecánicas de la madera, debido principalmente a las características propias de ésta. Existen variaciones entre árboles y dentro de un mismo árbol, debido principalmente a que los factores del medio ambiente, como son los climáticos y del suelo, inciden directamente sobre el desarrollo del árbol (Littleford, 1961).

Muchos factores, tales como el tamaño de la célula, estructura y composición, pueden contribuir a la variación de la resistencia entre los árboles (Littleford, 1961).

Díaz-Vaz y Cuevas, (1982), separan a los factores que afectan las propiedades mecánicas de la madera en dos grupos:

- Factores propios de los ensayos.
- Factores propios de la madera.

Dentro de los factores propios de los ensayos están :

- Tiempo de aplicación de la carga.
- Forma de aplicación de la carga.

2.1.3.1 Tiempo de aplicación de la carga

Panshin y De Zeeuw (1980), indican que la deformación de la madera bajo carga es el resultado de dos componentes independientes actuando simultáneamente. Una deformación elástica (mostrada en el gráfico tensión vs deformación como la porción de la línea donde la pendiente es constante, fig.3), que es la respuesta inmediata de la madera a la aplicación de una carga. El comportamiento elástico de la madera es el resultado de la presencia y comportamiento de las microfibrillas que muestran una respuesta elástica a la aplicación y remoción de una carga, es decir, la deformación es totalmente recuperable cuando la carga es removida. El segundo componente es la deformación plástica de la madera con el tiempo, que ocurre como resultado de las propiedades de flujo de la fracción de lignina de la pared celular bajo carga. Esta deformación plástica comienza con la primera aplicación de carga e incrementa con el tiempo. La recuperación de la deformación plástica en la madera es lenta y eventualmente se recupera

en sólo alrededor de la mitad de la deformación total.

Según Díaz-Vaz y Cuevas, (1982), la duración de aplicación de la carga es inversamente proporcional a la resistencia de la fuerza solicitada y, como muestra la figura 4, una madera que soporta una carga ininterrumpida durante 10 años resiste solo un 60 a 65 % de la carga que soportaría durante el tiempo de un ensayo estático, es decir, carga por un par de minutos. Del mismo modo, si se aplica la carga en fracciones de segundo, el valor de la resistencia será aproximadamente un 20 % mayor que si la carga se aplicara en un par de minutos.

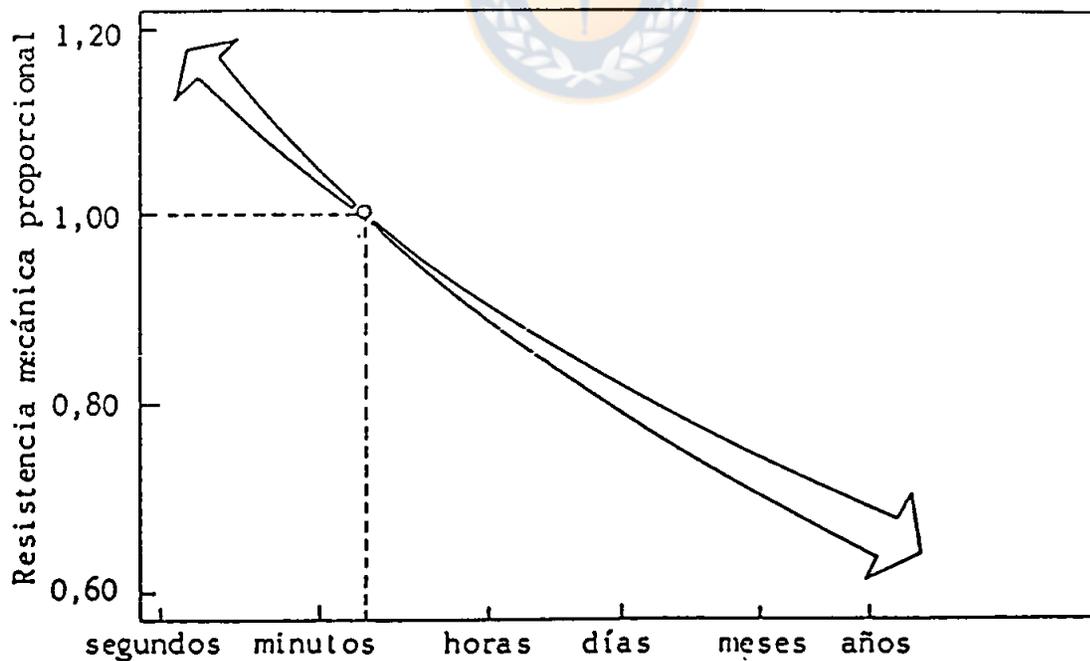


FIGURA 4. Efecto del tiempo en la resistencia mecánica de la madera. Según Díaz-Vaz y Cuevas, 1986.

2.1.3.2 Forma de aplicación de la carga

La forma de aplicación de la carga define por si sola los distintos ensayos que se realizan para caracterizar mecánicamente la madera.

Se reconocen los siguientes tipos de ensayo:

Tracción: Es aquel en que la aplicación de la carga tiende a alargar una dimensión de un cuerpo.

Compresión: La aplicación de la carga tiende a disminuir una dimensión de un cuerpo.

Flexión: La carga es aplicada en medio de la luz de una viga apoyada en ambos extremos. La flecha producida es la deformación resultante de la carga aplicada.

Cizalle: La aplicación de la carga provoca el deslizamiento de una parte del cuerpo sobre otra.

Clivaje: La carga es aplicada de tal forma que tiende a separar el cuerpo en dos parte a modo de una cuña.

Dureza: Corresponde a la resistencia que opone, la madera, a la penetración de otro sólido mas duro que ella.

Extracción de clavos: La fuerza aplicada tiende a vencer el roce entre la madera y un clavo introducido en ella.

Factores propios de la madera

Al no considerar los defectos propios de la madera, como son los nudos, fibra revirada, madera de compresión, y otros., se pueden destacar los siguientes factores:

- Densidad.
- Humedad.
- Espesor anillo de crecimiento.

2.1.3.3 Densidad

La densidad básica aparente de la madera, se define como el cuociente entre masa seca de una muestra y el volumen de agua que ella desplaza (Stephen y Hsiung, 1954), citado por González (1987).

Las resistencias mecánicas están directamente relacionadas con la densidad; las especies con madera densa tienen resistencias altas y las maderas livianas resisten menos que las anteriores. Esta relación se entiende al considerar que la densidad es la cantidad de sustancia leñosa presente por unidad de volumen de madera y que esta cantidad de sustancia leñosa es la que debe resistir los esfuerzos (Díaz-Vaz y Cuevas, 1986).

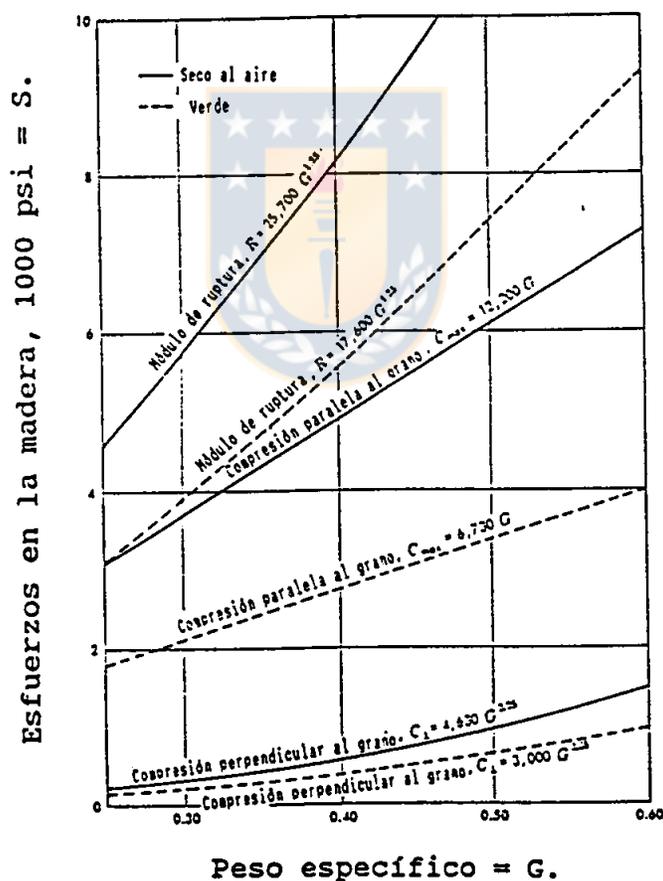
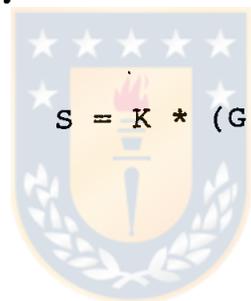


FIGURA 5. Curvas de predicción de propiedades de esfuerzo de la madera, según Panshin y De Zeeuw, 1980. (Psi = libra/pulgada cuadrada).

La densidad afecta fuertemente la resistencia de la madera y la producción y calidad de pulpa y papel (Koch,1972). Sin embargo, hay que considerar que la densidad está afectada por la presencia de resinas, gomas y sustancias extraíbles, las que contribuyen muy poco a la resistencia de la madera (Torres, 1971; Reporte 1303 USDA, Forest Service ,1956)

En la figura 5, S, es alguna propiedad o esfuerzo mecánico de la madera y G, es el peso específico de la madera. La fórmula general es:



$$S = K * (G)^n$$

Donde:

K = Es una constante de proporcionalidad diferente para cada propiedad.

n = Es un exponente que define la forma de la curva que representa la relación (Panshin y De Zeeuw, 1980).

El peso específico es un número que indica densidad relativa, que en unidades cegesimales es igual al valor absoluto de la densidad de la madera.

El peso específico varía significativamente dentro de un árbol con la altura y con la posición desde la médula hacia afuera, y ambos están en función de la edad (Koch,1972).

La figura 6, muestra la variación del peso específico con la altura en el árbol, según Trendelenburg (1939), citado por Kollmann y Côté (1968).

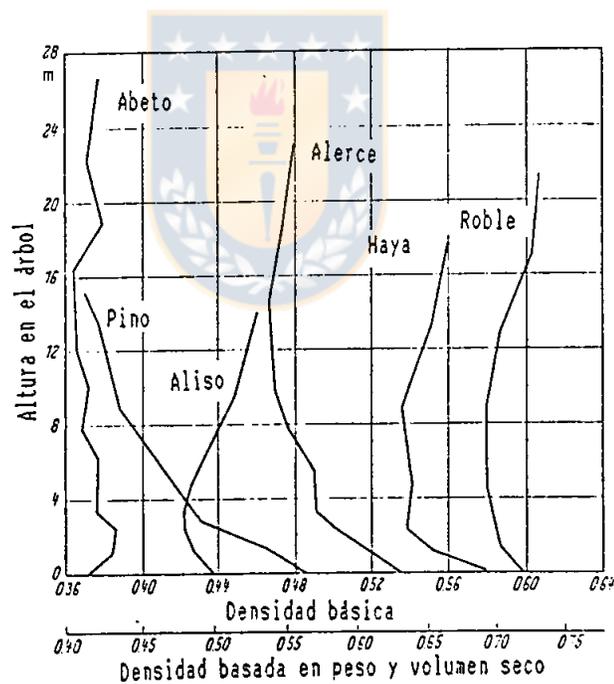


FIGURA 6. Variación de la densidad con la altura en el árbol, según Trendelenburg (1939).

2.1.3.4 Humedad

La capacidad que tiene la madera para absorber o liberar agua al medio en que se encuentra, se denomina higroscopicidad; esta característica afecta el uso que se puede hacer de la madera, puesto que dependiendo de la cantidad de agua presente en las cavidades celulares, su comportamiento ante algún tipo de sollicitación o uso será diferente y es altamente dependiente de la temperatura y humedad ambiental.

Según Kollmann y Côté (1968), las propiedades de la madera se ven afectadas cuando la humedad de ésta disminuye bajo el punto de saturación de las fibras (PSF) y sobre este punto el efecto de la humedad es mínimo.

Al disminuir la humedad bajo el PSF se aumenta la resistencia mecánica. Cada 1 % de disminución hace aumentar en un promedio general cerca de un 5 % la resistencia a la compresión, 4 % la flexión y 3 % la tracción. Sin embargo, se debe acotar que, en algunos casos, se puede detectar un máximo de resistencia cuando el contenido de humedad se encuentra cerca de un 6 % (Díaz-Vaz y Cuevas, 1986)

No todas las propiedades mecánicas de la madera aumentan con una disminución en la humedad, pues aquellas que representan tenacidad o resistencia a impactos disminuyen algunas veces con el secamiento de la madera. Esto se debe a que la madera seca no se dobla tanto como la húmeda antes de que se produzca la ruptura, aunque soporte una carga mayor, y porque la rigidez depende tanto de la resistencia como de la flexibilidad (Torricelli, 1941).

2.1.3.5 Espesor del anillo de crecimiento

El ancho del anillo anual de crecimiento ha sido largamente asociado con las propiedades de resistencia de pino oregón (Littleford, 1961). Según Stern, (1918), citado por Littleford, (1961), la madera de esta especie podía ser clasificada para uso estructural de acuerdo a rangos de crecimiento.

Estudios preliminares en pino oregón muestran que el ancho del anillo no es un índice seguro de las propiedades mecánicas de rodales de esta especie, de rápido crecimiento. Estas propiedades mecánicas parecen ser, más bien, una función de la edad, indicada por el número de anillos a partir de la médula de tal material y la

proporción de madera de verano que éstas contienen (Littleford, 1961).

Según Bier y Collins (1985), existe una disminución en la densidad y un incremento en el ancho del anillo de madera de árboles jóvenes; además, ambos autores aseguran que estudios de calidad de la madera desde 1940 han confirmado que los rangos de crecimiento juegan un rol menor en la determinación de la densidad de la madera sin defectos de pino radiata crecido en Nueva Zelanda. Gradientes radiales de densidad son asociados con una disminución del ancho del anillo desde la médula hacia afuera y son también relacionados con la edad.

Bier (1986), concluye que la distancia desde la médula es el indicador mas consistente de resistencia.

2.2 Descripción del área y especies en estudio

Antecedentes del predio (Fuente CONAF, Temuco)

2.2.1 Estado legal

Nombre del predio : Reserva Forestal Malleco
 Propietario : Ministerio de Agricultura
 Decreto de creación: N° 1540 del 30 de
 Septiembre de 1907

Superficie Decreto : 33690 há

Actual : 16625 há



2.2.2 Ubicación geográfica y administrativa

Provincia : Malleco
 Comuna : Collipulli
 Latitud Sur entre : 38° 0' y 38° 15'
 Longitud Oeste : 71° 4' y 71° 55'
 Región : IX de La Araucanía
 Area : Angol

2.2.3 Deslindes generales

Norte: Río Renaico, remontando desde su confluencia con el Río Amargo.

Este : Río Renaico hasta cerca de su nacimiento, enseguida una línea de altas cumbres que pasa por los cerros Calomahuida, Pata de Mula, Alto de Chilpas, hasta el nacimiento de Río Malleco.

Sur : Parque Nacional Tolhuaca.

Oeste: Línea de colonos del sector Niblinto, límite este del Fundo Baltimore, línea sur y norte del mismo fundo y luego línea imaginaria de norte a sur que limita con la Hacienda Jauja hasta el Río Amargo, hasta su confluencia con el Renaico.

2.2.4 Vías de acceso

Existen diferentes arterias a través de las cuales es posible acceder a la Reserva Forestal Malleco.

Collipulli - Los Guindos : 73 km, 25 km transitables durante todo el año y 48 km transitables solo en época estival.

Collipulli - Niblinto : 75 km, 25 km transitables durante todo el año y 50 km transitables en forma expedita sólo en época estival.

Mulchen - Hacienda Jauja - Los Guindos : 72 km, camino estabilizado, pero transitable en forma expedita sólo en época estival.

Victoria - Niblinto : 80 km, aproximadamente 35 km transitables todo el año y 45 km transitables en forma expedita sólo en época estival.

Para mayor información se incluye en los anexos (anexo 1) un plano del sector Los Guindos en la Reserva Forestal Malleco.

2.2.5 Clima

En la IX región la presencia de dos grandes accidentes topográficos como son la Cordillera de Nahuelbuta y la

Cordillera de Los Andes, influyen fuertemente en el clima local, al actuar como disparadores de lluvia, generando una marcada diferenciación en las precipitaciones.

En particular, el relieve de los terrenos de la Reserva Forestal Malleco, influye en el comportamiento de fenómenos atmosféricos básicos, como son las temperaturas y precipitaciones del sector.

Observaciones en el sector Los Guindos entre los años 1948 y 1953, arrojaron los siguientes resultados.



| | | | |
|-----------------|---|----------------|-----------|
| Precipitaciones | : | Promedio anual | 4096,2 mm |
| Otoño | : | 427,6 | mm |
| Invierno | : | 2444,2 | mm |
| Primavera | : | 896,5 | mm |
| Verano | : | 327,9 | mm |

Promedio anual de días de lluvia : 100

2 meses secos en el año, pp < 30 mm

Dias de heladas (1948 - 1953)

| | Minimo | Medio | Máximo |
|------------|--------|-------|--------|
| Otoño : | 0 | 4,5 | 10 |
| Invierno : | 4 | 10,5 | 21 |
| Primavera: | 1 | 7 | 26 |
| Verano : | 0 | 0,6 | 3 |

Datos de mapas climáticos

Isotermas

Promedio anual 13° - 14°C

Promedio Enero 19°C

Promedio Julio 6° - 8°C

Humedad del aire

Isonefa anual : 60%

Vientos dominantes:

NE, en otoño e invierno.

SO, en primavera y verano.

En general se puede clasificar el área como de clima templado lluvioso.

2.2.6 Descripción general de suelos de la Reserva Forestal Malleco, Sector Los Guindos

Según Carrasco, 1994, la descripción general de los suelos de la Reserva Forestal Malleco sector Los Guindos es la siguiente:

Plantación de Picea ovobata.

Geomorfología : terraza aluvial reciente.

Material generador: rocas y arenas andesíticas y basálticas.



Observaciones

Suelo depositacional que tiene las siguientes limitantes: profundidad y textura extrema. El bosque que creció se consideró excelente dadas las precarias características del suelo. Se estimó de gran importancia la influencia benéfica del clima y del régimen hídrico del suelo que está influenciado por el estero que lo originó. De acuerdo con las características observadas, se clasificó en la clase VII 2s.

Plantación Cupressus lusitanica

Geomorfología: lomajes de topografía abrupta.

Material generador : cenizas modernas, volcánicas, andesíticas y basálticas.

Observaciones

Suelo trumao, la principal limitante es la pendiente; sitio de excelente calidad. De acuerdo con las características observadas, se clasificó en la clase VII 1s.

Plantación Pinus pinaster.

Geomorfología: lomajes de topografía abrupta, disectado por quebradas de cursos intermitentes.

Material generador: cenizas volcánicas modernas andesíticas y basálticas.

Observaciones.

Suelo perteneciente a la categoría de los trumaos, la principal limitante es la pendiente; sitio de excelente calidad desde el punto de vista forestal. De acuerdo con

las características observadas se clasificó en la clase VII 1s.

La descripción física y morfológica del perfil de los suelos en que crecieron las especies estudiadas se muestran en el anexo 2.

2.2.7 Descripción de las especies

2.2.7.1 Clasificación taxonómica de las especies en estudio

De acuerdo al sistema de clasificación propuesto por Krüssmann (1985), citado por Rodríguez y Rodríguez (1994), los árboles estudiados se ordenan taxonómicamente como sigue.

-División Gymnospermae.

-Clase Coniferopsida.

-Orden coniferales

Familia : Cupressaceae

Genero : Cupressus

Especie : Cupressus lusitanica Mill.

Familia : Pinaceae

Genero : Picea

Especie : Picea ovobata Ledeb.

Genero : Pinus

Especie : Pinus pinaster Ait.

2.2.8 Descripción general de las especies

2.2.8.1 Cupressus lusitanica Mill.

Arbol de hábito variable, copa redondeada o piramidal, con ramas extendidas, ramitas péndulas dispuestas en varios planos, follaje verde oscuro. Hojas mayores de 1 mm de largo, aovadas, agudas o subagudas, ligeramente separadas en las puntas. Conos globosos de 1 a 1,5 cm de diámetro, cubiertos por una eflorescencia cuando jóvenes, que desaparecen al madurar; escamas de 6 a 8 con un mucrón dorsal bien desarrollado, conteniendo de 8 a 10 semillas bajo cada escama (Parodi, 1959; Rodríguez, 1981; 1984; Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Area de distribución natural

Es originario de Mexico, extendiendose a través de las montañas de Honduras y Guatemala. Crece hasta alturas de 30,5 metros con diámetros de 60 cm; además es cultivado y naturalizado en Portugal desde donde, posiblemente, se le introdujo a la India. (Handbook of Softwood, 1957, H.M. Stationery Office.; Rodríguez y Rodríguez, 1994)

Exigencias edafoclimáticas

No acepta suelos arcillosos, prefiere suelos de textura media, aunque no sean fértiles. Crece también en climas continentales con una pluviometría superior a los 800 mm, lugares muy expuestos a nevazones no le son convenientes ya que el peso de la nieve quiebra sus ramas (Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Características ecológicas

Es una especie intolerante a la luz; posee excelente regeneración natural, desde una edad muy temprana, debido a la precocidad en la producción de semillas y a su alta productividad cuando el rodal se encuentra poco denso (Rodríguez y Rodríguez, 1994).

La madera

El duramen es café amarillento a café rosado y usualmente completamente distinto de la albura. El grano es usualmente liso y la textura fina; el crecimiento de los anillos, marcado por una estrecha banda de madera tardía, no es notorio. Aunque para propósitos prácticos la madera puede ser clasificada como no resinosa, depósitos de resina se presentan ocasionalmente como rayas de color café. La madera sometida a secado pesa sobre 448,5 kg/m³, usada en construcción es durable y especialmente buena cuando está en contacto con el suelo. Su uso general es externo. Es fácil de trabajar con herramientas manuales y máquinas. Se seca rápidamente. El duramen es difícil de tratar, presenta respuestas irregulares a la impregnación (Handbook of Softwood, 1957, H.M. Stationery office).

Característica mecánicas

La información de la madera importada a EEUU que se muestra a continuación (Tabla 1), corresponde a ensayos en pequeñas piezas, libres de defecto. Algunas de las propiedades han sido ajustadas al 12 % de contenido de humedad al momento del test, otros son realizados al contenido de humedad al momento del ensayo. El peso específico está basado en peso

seco y volumen verde. El módulo de elasticidad está medido a partir de soportes simples con una carga centrada sobre una luz con un radio de $L/14$. El módulo puede ser corregido por efecto de cizalle por deflexión por un incremento del 10 % . La madera proviene de Africa, creciendo en plantación e importada a EEUU. Los valores no fueron obtenidos por el Laboratorio de Productos Forestales de Estados Unidos y fueron tomados desde la literatura mundial (Agriculture Handbook N° 72,1987, USDA Forest Service).

Los siguiente datos corresponden a ensayos realizados en el Laboratorio del Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile, con probetas climatizadas al 12 % (+, -, 1) de contenido de humedad.

Los ensayos de compresión paralela y flexión estática se realizaron de acuerdo a las normas DIN 52185 y DIN 52186 respectivamente. Las determinaciones de dureza Janka se rigieron por la Norma Chilena NCh 978 (Cuevas e Inzunza, 1991).

TABLA 1. CARACTERISTICAS MECANICAS DE MADERA DE Cupressus lusitanica DE DISTINTA PROCEDENCIA¹

| Origen | | Importada a EEUU | | Valdivia |
|---------------------|--------------------|------------------|----------|----------|
| Ensayo | Unidades | Verde | 12% | 12% |
| Flexión estática | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 64683,36 | 71714,16 | 70006,68 |
| MOR | Kg/cm ² | 435,91 | 724,17 | 739,4 |
| Compresión paralela | | | | |
| RC | Kg/cm ² | 202,49 | 378,26 | 413,2 |
| Tensión máxima | | | | |
| Cizalle paralelo | Kg/cm ² | 66,79 | 111,09 | |
| Tangencial | Kg/cm ² | | | |
| Radial | Kg/cm ² | | | |
| Dureza Janka | | | | |
| Paralela | Kg | | | 407,18 |
| Normal | Kg | 154,22 | 208,66 | 220,73 |
| Densidad | g /cm ³ | 0,39 | | 0,4 |

1 Cuevas e Inzunza, 1991.

Agriculture Handbook n° 72, 1987, USDA FS.

2.2.8.2 Picea ovobata Ledeb.

Sinonimia:

Picea ovobata Link. var. ovobata (Ledeb.) Blytt; Picea abies (L.) Karst. var. ovobata (Ledeb.) Voss.

Arbol de porte piramidal, ramas extendidas horizontalmente, algo péndulas, ramitas pubescentes o glabras, color

castaño, hojas de 1,5 cm de largo y no mayores de 2 cm, de sección rómbica; de color verde clara a gris verdosa, dirigidas hacia adelante cubriendo toda la ramilla; 2 a 3 bandas estomáticas poco visibles en cada lado; yemas ovoides a subcónicas, de color castaño, no resinosas. Conos femeninos de 6 a 8 cm de largo, cilindricos, algo curvos, blandos, café lustrosos en la madurez; escamas numerosas delgadas y anchamente redondeadas en el ápice. Semillas de 0,5 cm de largo; alas de 1,5 cm de largo, reproducción por semillas; ornamental y forestal, puede alcanzar un promedio de altura de 36,5 metros y 76 a 122 cm de diámetro. Estos grandes tamaños los puede alcanzar en las Montañas de los Carpatos, y en Rumania llega a 61 metros de altura con 150 a 180 cm de diámetro (Parodi, 1959; Rodríguez, 1981; Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Area de distribución natural

El árbol es nativo de Europa, extendiéndose desde la latitud 69° hacia el sur de los Pirineos, Alpes y Montañas Carpatos y hacia el oeste en Rusia Occidental. El árbol está establecido en áreas montañosas o en climas Nórdicos cuando no es competencia de latifoliadas de rápido crecimiento. (Handbook of Softwood, 1957, H.M. Stationery Office)

Exigencias edafoclimáticas

Arbol muy resistente a las bajas temperaturas y heladas intensas. No acepta suelos arcillosos impermeables (Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Características ecologicas

Es una especie tolerante a la sombra por lo que puede plantarse formando bosques mixtos. Se regenera bien, en forma natural, cuando el piso del suelo se ha removido y penetra la luz solar (Rodríguez y Rodríguez, 1994).

La madera

La madera varía desde un color casi blanco a café amarillento y con un lustre natural. Los anillos anuales marcados por un contraste entre la clara madera de primavera y la oscura madera de verano. Carece de duramen. Presenta resina pero es generalmente no obstrusiva. La madera que proviene del Báltico tiene un peso promedio de sobre 464,5 kg/m³. En general la madera importada a Inglaterra a 18 % de humedad tiene una densidad promedio de 512,6 kg/m³ y la crecida en Inglaterra una densidad

promedio de 384,5 kg/m³ (Handbook of Softwood, 1957, H.M. Stationery Office).

Usos

La mayoría de la madera es usada para carpintería en general, terminación de interiores de casas, cajones, adornos etc. La Picea proveniente de Rumania (llamada Pino rumano), es considerada la mejor para cajas de sonido de piano y de violines. Pequeños árboles son usados en andamios, mástiles de banderas y para muchos otros propósitos. Es también muy utilizada para fabricar pulpa y papel, especialmente en Escandinavia y en Rusia. En Alemania la corteza es triturada y usada para extraer taninos.

La calidad de la Picea depende del lugar en que crece; generalmente la de más al norte es de mejor calidad. Los árboles creciendo a una misma latitud pueden producir diferentes grados de madera, de acuerdo a la altitud y densidad del rodal (Handbook of Softwood, 1957, H.M. Stationery Office).

Características mecánicas

A continuación se entregan valores de resistencia mecánica de la especie creciendo en Inglaterra y valores de madera importada a Inglaterra, tomados de "The Structural Use of Timber", (Booth y Reece, 1967).

TABLA 2. CARACTERISTICAS MECANICAS DE MADERA DE Picea ovobata DE DISTINTA PROCEDENCIA.²

| Origen | Unidades | Suecia | Polonia | Reino Unido | |
|---------------------|--------------------|----------|----------|-------------|----------|
| | | Verde | 13,8% | Verde | 12% |
| Flexión estática | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 75248,37 | 105448,4 | 58370,23 | 80171,16 |
| MOR | Kg/cm ² | 400,86 | 717,32 | 344,6 | 682,16 |
| Compresión paralela | | | | | |
| RC | Kg/cm ² | 185,66 | 372,02 | 173,7 | 359,36 |
| Tensión máxima | | | | | |
| Cizalle paralelo | Kg/cm ² | 49,93 | 98,46 | 45,01 | 105,49 |
| Tangencial | Kg/cm ² | | | | |
| Radial | Kg/cm ² | | | | |
| Dureza Janka | | | | | |
| Paralela | Kg | | | | |
| Normal | Kg | 149,69 | 213,19 | 113,4 | 190,5 |
| Densidad | g /cm ³ | | | | |

2. "The Structural Use of Timber", (Booth y Reece, 1967).

2.2.8.3 Pinus pinaster Ait.

Hojas en número de dos por braquiblastos, rígidas, bordes aserrados en ambos lados, verde claro opaco, de 10 a 14 cm de largo; banda estomática no visible a simple vista; dos canales resiníferos marginales. Ramillas glabras, café claro. Vainas rugosas café oscuro. Yemas de 1,5 cm de largo, cilíndricas, punta redondeadas, a veces cuspidadas, no resinosas. Conos femeninos de 14 cm de largo, simétricos, ovoides; apófisis café brillante, umbo claro a ceniciento, mucron no punzante. Semillas de 1 cm de largo, alas de 2 cm de largo. Reproducción por semilla; forestal, alcanza alturas de 36,5 metros y diámetros de 90 a 122 cm. (Parodi, 1959; Rodríguez, 1981; Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Area de distribución natural

La zona de distribución natural de este pino es del sur de Europa, especialmente en las costas del Mediterraneo y las Dunas del Atlántico.

El pino marítimo es nativo de la región del Mediterraneo. Este es usualmente confinado a la región costera, desde Grecia hasta las costas del Atlántico, en Francia y

Portugal. Ha sido extensivamente plantado en Francia, en la región de Landes y en Portugal, y una pequeña extensión en las áreas arenosas de Gran Bretaña (Handbook of Softwood, 1957, H.M. Stationery office).

En Francia cubre mas del 10 % de la superficie. En Landes se usa para fijar dunas, como tambien en Touraine, Sologne y en Bretagne (Les resineux Francais,(1986). Agence Francaise Pour la Maîtrise de L'énergie).

Exigencias edafoclimáticas

Es muy resistente al frio ($-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) y a las temperaturas altas en verano ($35 - 40\text{ }^{\circ}\text{C}$), y temperaturas mayores a nivel del suelo, especialmente en arenas ($60 - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Es poco exigente en calidad y humedad del suelo; su crecimiento es superior al de otras especies en suelos con deficiencias nutricionales (Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Características ecológicas

Es una especie intolerante a la luz. Posee excelente regeneración natural, dadas las características de sus conos serotinos que dispersan en forma intermitente las semillas y a la alta capacidad germinativa de éstas,

aproximadamente 80 % (Rodríguez y Rodríguez, 1994).

La madera

La albura se distingue, de color claro con las zonas de madera de primavera amarillenta y la madera de verano de color óxido (rojizo).

El duramen está coloreado, las zonas de madera de primavera son amarillentas a amarillento - rosáceo, la madera de verano es roja, rojo castaño o castaño anaranjado (Les resineux Francaise, 1986. Agence Francaise Pour la Maîtrise de L'énergie).

Usos

En el oeste de Europa es un importante productor de resina y la mayor cantidad de la madera es obtenida apartir de árboles que han sido resinados. Este proceso induce la producción de considerables cantidades de resina, y dependiendo de la cantidad de resina que quede en la madera, es la apariencia que ésta tiene.

La madera se usa principalmente en construcción y cajonería. En los últimos años en la región de Bordeaux, la

pulpa Kraft ha sido fabricada a partir de Pino marítimo.
(Handbook of Softwood, 1957, H.M. Stationery Office)

Características mecánicas

Los valores de algunas propiedades mecánicas fueron tomados de la publicación "Les Resineux Francais" donde se especifican las resistencias mecánicas de madera para una clasificación de calidad. En éste caso, los valores corresponden a especificaciones particulares para empleo en estructuras y los valores están dados para una humedad de la madera del 15 %, correspondiente a la humedad de equilibrio corriente de la madera de construcción; ésto no significa que la madera debe estar al 15 % de humedad en el momento de las transacciones comerciales.

Módulos convencionales de deformación

| | | |
|--|----------|--------------------|
| Cizalle | : 5100 | Kg/cm ² |
| Longitudinal en flexión pura | : 137292 | Kg/cm ² |
| Longitudinal, esfuerzo cortante incluido | : 117300 | Kg/cm ² |
| Densidad | : > 450 | Kg/m ³ |

Los datos provenientes de Uruguay fueron tomados de un apartado de la revista de la Asociación de Ingenieros

Agrónomos N° 102 de Enero - Junio de 1958, de Uruguay, y los datos fueron obtenidos en el Instituto de Ensayo de Materiales, de la Facultad de Ingeniería y Agrimensura del Uruguay.

La humedad varía entre el 12 y 16 %.

TABLA 3. CARACTERISTICAS MECANICAS DE MADERA DE Pinus
pinaster DE DISTINTA PROCEDENCIA.³

| Origen | | Francia | Uruguay |
|---------------------|--------------------|---------|-----------|
| Ensayo | Unidades | 15% | 12% - 16% |
| Flexión estática | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 117300 | 84850 |
| MOR | Kg/cm ² | | 775 |
| Compresión paralela | | | |
| RC | Kg/cm ² | | 437 |
| Tensión máxima | | | |
| Cizalle paralelo | Kg/cm ² | | 75 |
| Tangencial | Kg/cm ² | | |
| Radial | Kg/cm ² | | |
| Dureza Janka | | | |
| Paralela | Kg | | 290 |
| Normal | Kg | | |
| Densidad | g /cm ³ | 0,45 | |

3. Les resineux Francaise, 1986. Agence Francaise Pour la Maîtrise de L'énergie.

Asociación de Ingenieros Agrónomos N° 102 de Enero - Junio de 1958, de Uruguay.

III. MATERIALES Y METODO.

En la ejecución de los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de las maderas se siguió estrictamente la Norma Chilena Oficial. No así en el caso de la colección de la muestra para ensayos donde hubo que aceptar restricciones respecto al tamaño de la muestra y su distribución en altura en los árboles. En este caso, se adoptó un procedimiento similar al utilizado por el Instituto Forestal (Infor, 1982).

3.1 Selección de los individuos y trozas.

La selección de los individuos destinados a ser ensayados se realizó de acuerdo a la metodología utilizada por el INFOR para los ensayos especificados en el Informe Técnico No 84 de 1982, debido, principalmente, a la pequeña cantidad de material disponible.

Se seleccionó tres árboles por especie a partir de una parcela de 1/20 de Há en cada rodal del sector Los Guindos, en ella se midió el DAP de todos los árboles, se obtuvo el diámetro cuadrático medio y se seleccionaron los tres individuos que se encontraban más cerca de las clases

centrales. La obtención de las trozas se rigió por las disposiciones de trozado dadas por CONAF para el mejor aprovechamiento de los trozos, obteniéndose trozas de 1,3 metros y de 1,2 metros de largo, por árbol, las dos primeras a 3,7 metros de altura desde el suelo y las otras dos a 9,9 metros del suelo.

Las trozas así obtenidas se marcaron en su base con una clave inicial que especificó la especie y el número de troza, correlativo a través de la especie.

Las trozas debidamente clasificadas quedaron a cargo de CONAF, quien se encargó de su traslado a la Universidad del Bio Bio para ser procesadas.

3.2 Obtención de las probetas para ensayo

Llegada la madera a la Universidad del Bio Bio se procedió a remarcar cuidadosamente cada troza para evitar posibles confusiones; se examinó cada troza de manera de determinar si presentaba madera de compresión, puesto que interesaba sólo realizar los ensayos con madera normal, que se ubica en forma perpendicular al diámetro mayor, pasando por la médula, de aquí se obtuvo un tablón o peineta (que incluye la médula), que se marcó con las letras A y B, a ambos

lados de la médula. En algunos casos fué necesario usar la madera ubicada en el lado opuesto a la de compresión, por ser algunas trozas delgadas. En éste caso el diámetro mayor se marcó con las letras C y D, estas letras se agregaron a la clave inicial.

Por ejemplo:

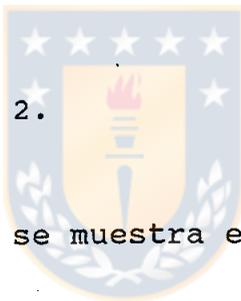
P1A2

P = Pino.

1 = Troza N° 1.

A = Tablón A.

2 = Vigüeta N° 2.



El esquema de corte se muestra en la figura 7a.

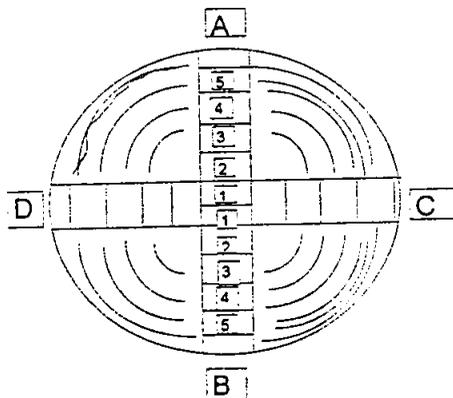


FIGURA 7a. Esquema de corte para la obtención de las vigüetas.

Los pasos siguientes en la obtención de las probetas fueron los siguientes.

- 1.- Cuadrar levemente las trozas en la sierra principal (sierra circular canteadora).
- 2.- Obtención de la peineta de aproximadamente 8 cm de espesor en la sierra huincha.
- 3.- División de la peineta a través de la médula, obteniéndose las semipeinetas A y B, y en algunos casos la D.
- 4.- Separación de la mitad de la madera en cada especie.
- 5.- Encastillado de la madera destinada a la obtención de las probetas para ensayos en seco con el objetivo de lograr un secamiento lento para evitar partiduras. En algunos casos fue necesario acondicionar la madera en una cámara de clima para lograr la humedad requerida para los ensayos.

Todo el trabajo se realizó en dependencias de la Universidad del Bio Bio y con máquinas herramientas pertenecientes a ésta casa de estudios.

Las herramientas utilizadas fueron principalmente:

- 1.- Sierra circular canteadora.
- 2.- Sierra huincha.
- 3.- Sierra trozadora manual.
- 4.- Cepilladora de mesa.
- 5.- Cepilladora para pequeñas piezas.

El proceso completo se muestra en la figura 7b.



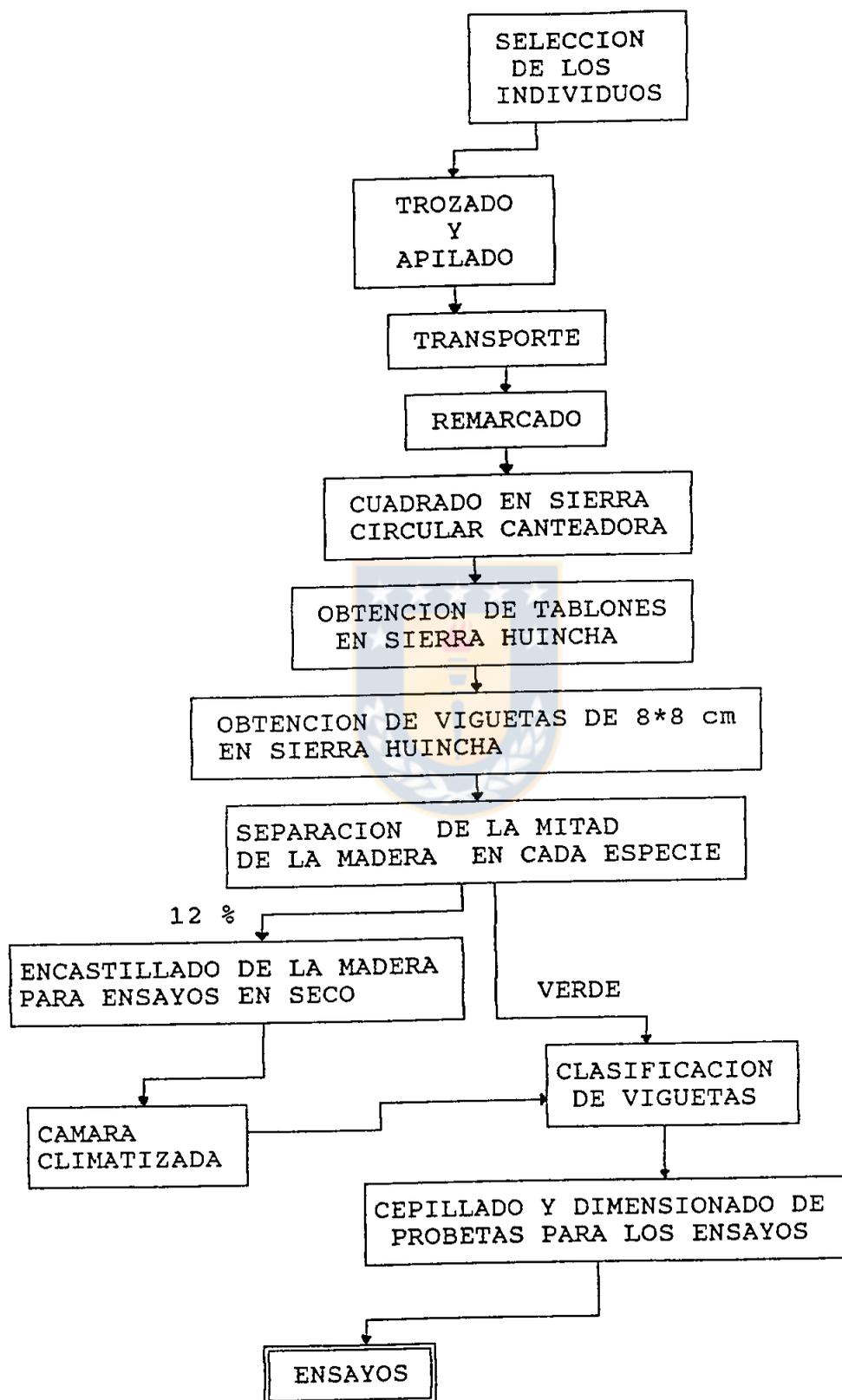


FIGURA 7b. Proceso seguido para la obtención de las probetas.

3.3 Ensayos de resistencia mecánica

Para la realización de los ensayos se utilizaron dos máquinas de ensayo, una perteneciente a la Universidad del Bio Bio y la otra a la Universidad de Concepción. La primera es una máquina de tipo universal, marca INSTRON, la cual está equipada para ejercer una carga máxima de 5000 kg, ya sea en tracción o en compresión. En ella se llevaron a cabo los ensayos de flexión estática, compresión paralela a las fibras y dureza.

La segunda es también una máquina de tipo universal, hidráulica, marca RIEHLE, modelo KA-120 la cual está equipada para ejercer una carga máxima de 60000 kg, ya sea en tracción o en compresión. En ella se realizaron los ensayos de cizalle paralelo a las fibras en forma radial y tangencial.

Ademas se utilizaron los siguientes equipos complementarios:

| Equipos | Precisión |
|------------------------|---------------------|
| - Deflectómetro. | : 0,002 mm |
| - Pie de metro. | : 0,01 mm |
| - Balanza electrónica. | : 0,01 gr |
| - Huincha métrica. | : 0,1 cm |
| - Cámara climática. | : 1,0 °C ; 0,5 % HR |
| - Estufa de secado. | : 1,0 °C |

Los diferentes ensayos se realizaron según las especificaciones determinadas por las normas que se indican a continuación y la descripción de los ensayos se muestran en el anexo 3.

| <u>Ensayo.</u> | <u>Norma.</u> |
|-------------------------|---------------------------------|
| Flexión estática | NCh 987 de 1986 P. alternativa. |
| Compresión paralela | NCh 973 de 1986 P. alternativa. |
| Dureza Janka | NCh 978 de 1986. |
| <u>Cizalle paralelo</u> | <u>NCh 976 de 1986.</u> |

En cada uno de los ensayos se tomó una porción de cada una de las probetas para determinar la densidad de la madera.

IV. RESULTADOS

A continuación se entregan los resultados obtenidos de los ensayos de propiedades mecánicas para las especies en estudio.

Las tablas 1 y 2 corresponden a un resumen de las tablas de resultados mostradas en el apéndice.

TABLA 4. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS AL 12 % de humedad.

| Especie | | Pinus pinaster | Cupressus Lusitanica | Picea ovobata |
|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|------------------|
| Ensayo | Unidades | | | |
| Flexión estática | | | | |
| MOE | kg/cm ² | 90875,00 | 86945,40 | 91419,80 |
| MOR | kg/cm ² | 803,70 | 710,10 | 679,80 |
| TLP | kg/cm ² | 548,30 | 448,30 | 521,60 |
| Compresión paralela | | | | |
| Fclp | kg/cm ² | 228,87 | 304,18 | 256,42 |
| RC | kg/cm ² | 376,82 | 407,25 | 361,04 |
| Cizalle paralelo | | | | |
| Tensión máxima cizalle | | | | |
| Tangencial | kg/cm ² | 130,17 | 103,04 | 88,77 |
| Radial | kg/cm ² | 116,19 | 78,99 | 82,59 |
| Dureza Janka | | | | |
| Paralela | kg | 456,32 | 515,00 | 421,25 |
| Normal | kg | 293,42 | 255,80 | 243,91 |
| Densidad Nominal | g/cm ³ | 0,47 | 0,44 | 0,39 |

$$\text{Densidad Nominal (DN)} = (\text{Peso seco} / \text{Volumen al 12 \%})$$

TABLA 5. RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS EN ESTADO VERDE.

| Especie | | Pinus pinaster | Cupressus Lusitánica | Picea ovobata |
|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|------------------|
| Ensayo | Unidades | | | |
| Flexión estática | | | | |
| MOE | kg/cm ² | 77504,50 | 75440,90 | 85639,30 |
| MOR | kg/cm ² | 465,80 | 536,80 | 455,80 |
| TLP | kg/cm ² | 256,10 | 297,10 | 279,80 |
| Compresión paralela | | | | |
| Felp | kg/cm ² | 136,28 | 189,06 | 154,39 |
| RC | kg/cm ² | 171,18 | 222,05 | 205,84 |
| Cizalle paralelo | | | | |
| Tensión máxima cizalle | | | | |
| Tangencial | kg/cm ² | 56,92 | 62,54 | 61,51 |
| Radial | kg/cm ² | 55,65 | 58,44 | 50,65 |
| Dureza Janka | | | | |
| Paralela | kg | 233,23 | 306,57 | 312,17 |
| Normal | kg | 207,47 | 234,93 | 212,35 |
| Densidad Básica | g/cm ³ | 0,42 | 0,41 | 0,36 |

Densidad básica (DB) = (Peso seco / Volumen verde)

V. DISCUSION.

5.1 Efecto de la humedad.

TABLA 6. PORCENTAJE DE DISMINUCION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS POR EFECTO DE LA HUMEDAD.

| ESPECIE | Pinus pinaster | Cupressus lusitanica | Picea ovobata |
|---------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|
| ENSAYO | % de disminución de seco a verde | | |
| Flexión estática | | | |
| MOE | 14,71 | 13,23 | 6,32 |
| MOR | 42,04 | 24,4 | 32,95 |
| Tlp | 53,29 | 33,73 | 46,36 |
| Compresión paralela | | | |
| Fc _{lp} | 40,46 | 37,85 | 39,79 |
| RC | 54,57 | 45,48 | 42,99 |
| Cizalle paralelo | | | |
| T. máxima cizalle | | | |
| Tangencial | 56,27 | 39,31 | 30,71 |
| Radial | 52,1 | 26,02 | 38,67 |
| Dureza Janka | | | |
| Paralela | 48,89 | 40,47 | 25,89 |
| Normal | 29,29 | 8,16 | 12,94 |

En general, la literatura indica que las propiedades mecánicas de la madera disminuyen al aumentar el contenido de humedad, esto se puede observar en la tabla 6, donde se indican los porcentajes de disminución en cada propiedad estudiada desde el estado seco al aire (12 %) al estado verde (> 30 %).

En el ensayo de flexión estática la propiedad afectada en mayor medida fué la tensión en el límite proporcional con una disminución del 53,29 % para Pinus pinaster, 33,73 % para Cupressus lusitanica y 46,36 % para Picea ovobata.

Como se puede observar la rigidez medida en flexión estática es poco afectada lo que puede ser producto de la edad de los árboles estudiados (60 años promedio). Con respecto a la propiedad mayormente afectada (Tlp), se puede observar (tabla 6), que el aumento del contenido de humedad provoca un desplazamiento del punto que separa la zona elástica de la plástica permitiendo que ésta última cubra una mayor área.

En el ensayo de compresión paralela a las fibras la tensión de rotura es afectada en mayor medida que la tensión en el límite proporcional, esta disminución es de 54,57 % para Pinus pinaster, 45,48 % para Cupressus lusitanica y 42,99% para Picea ovobata.

Para el cizalle paralelo, los porcentajes de disminución son mayores en el sentido tangencial para Pinus pinaster, con un 56,27 % y Cupressus lusitanica con un 39,31 %. En el caso de Picea ovobata el cizalle radial presenta una mayor disminución con un 38,67 %.

Dureza Janka presenta una disminución de la resistencia notablemente mayor en el sentido paralelo que en el sentido normal a las fibras, esto es importante si consideramos que la madera es solicitada, en la mayoría de los casos, en el sentido normal a las fibras.

En general Pinus pinaster presenta una mayor disminución de sus propiedades al aumentar el contenido de humedad.

5.2 Propiedades mecánicas.

Flexión estática al 12 % de humedad.

Como se mencionó anteriormente el módulo de elasticidad (MOE), es un índice de la rigidez de la madera, a mayor MOE, mayor es la rigidez, en este caso se puede observar, para el ensayo al 12 % de humedad, que los valores de los MOE son aproximadamente iguales. Picea es levemente mayor en un 0,6 % que pino y en un 4,9 % que ciprés, la diferencia entre las especies se puede observar en mejor forma en la figura 8 donde se muestran las curvas promedio para el ensayo. En ella se puede observar también los niveles alcanzados por las cargas máximas, que permiten la determinación de los módulos de ruptura (MOR). En este caso

la especie que alcanza un mayor MOR es pino con un 15,42 % más que picea y un 11,65 % más que ciprés.

Observando la gráfica se puede inferir sobre la tenacidad y la plasticidad de las especies en estudio. Tenacidad se puede definir de una manera simple como la resistencia a la ruptura y en este caso se puede estimar en base al área total bajo la curva, a mayor área mayor será la resistencia total a la ruptura (*) ¹. La estimación de éstas áreas se realizó mediante una malla de puntos y se observó que la mayor área pertenece a pino seguido de ciprés y en tercer lugar picea. Esto nos indica que en flexión estática al 12 % de humedad la especie Pinus pinaster es la que presenta la mayor resistencia total a la ruptura.

Con respecto a la plasticidad la forma de medirlo es a través del coeficiente plástico de Janka, este se mide entre el límite proporcional y el límite de ruptura como la razón entre la deflexión ocurrida en dicha zona y la carga necesaria para que dicha deflexión ocurra (*). En este estado (12 % de humedad) las tres especies alcanzan valores relativamente similares, variando entre 0,0077 cm/kg para pino y 0,0081 cm/kg para picea, ciprés muestra un comportamiento intermedio con 0,0079 cm/kg, esto nos indica

¹(*) Luis valenzuela, 1994, comunicación personal.

que picea es levemente mas plástica que las otras dos especies. El procedimiento se muestra en el anexo 4.

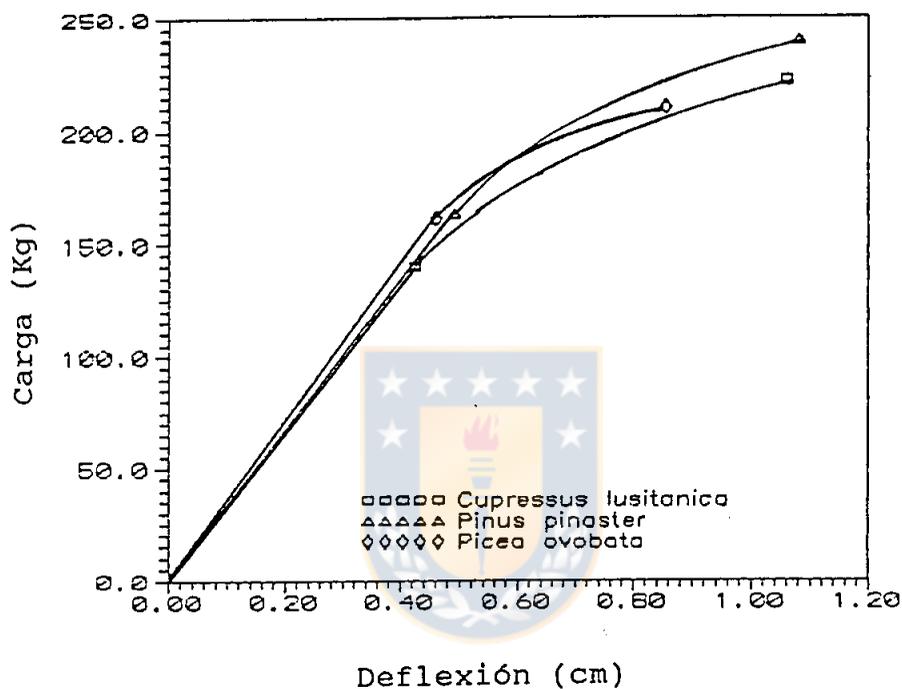


FIGURA 8. Curvas promedio para el ensayo de flexión estática al 12 % de humedad.

Flexión estática verde.

Realizando un análisis similar al efectuado para el ensayo al 12 % de humedad se observó lo siguiente:

El mayor MOE pertenece a picea y por lo tanto es la de mayor rigidez con un 8,86 % más que pino y un 11,29 % más que ciprés, esto se puede apreciar en la figura 9, donde las pendientes de las curvas en la zona elástica son aproximadamente iguales. También se puede observar que las zonas plásticas aumentaron considerablemente. ciprés alcanzó la mayor carga de ruptura con un 13,22 % más que pino y un 15,08 % más que picea.

Al analizar la tenacidad en base al área total bajo la curva se observa que pino genera una mayor área seguido por ciprés y en tercer lugar picea, esto nos indica que la mayor resistencia total a la flexión en estado verde la presenta Pinus pinaster.

En el caso de la plasticidad medida a partir del límite proporcional, pino presenta el mayor coeficiente y por lo tanto es más plástico. Los valores obtenidos son 0,0188 cm/kg para pino, 0,0145 cm/kg para picea y 0,0105 cm/kg para ciprés.

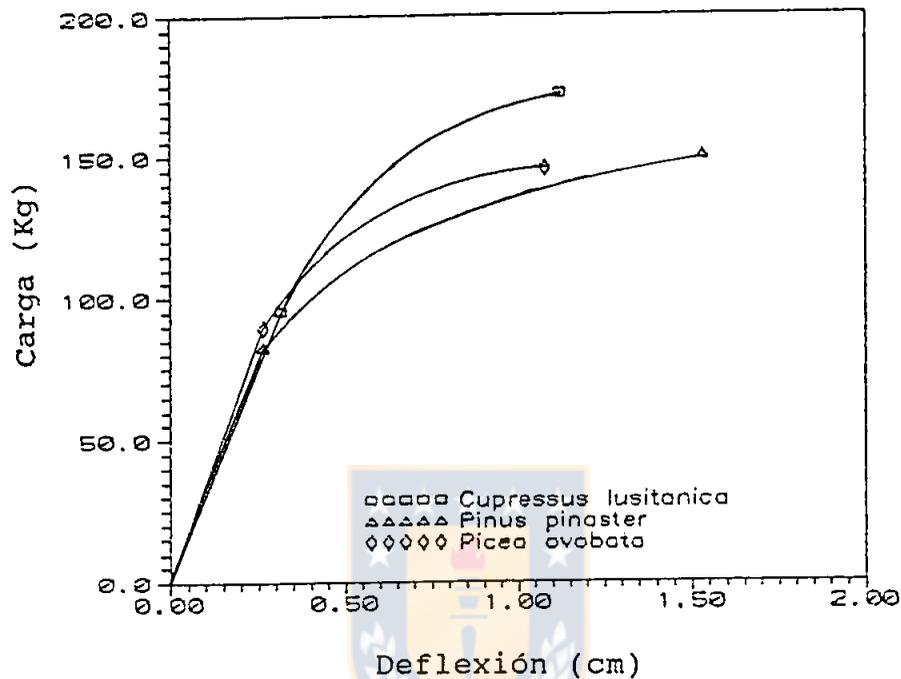


FIGURA 9. Curvas promedio para el ensayo de flexión en estado verde.

Compresión paralela a las fibras.

De los criterios para el análisis de la flexión estática podemos extender aquel que nos entrega un índice de la resistencia total a la ruptura; el del área total bajo la curva, sin embargo es necesario dejar establecido que los conceptos de tenacidad y plasticidad son de aplicación

especifica al ensayo de flexión.

Para el ensayo al 12 % de humedad, (figura 10), se observa que la curva generada por ciprés encierra una mayor área y la generada por picea el área menor. Esto nos indica que para este caso ciprés presenta una mayor resistencia total a la compresión paralela; es también quien presenta la mayor tensión en el límite proporcional, en segundo lugar pino y picea en tercer lugar.

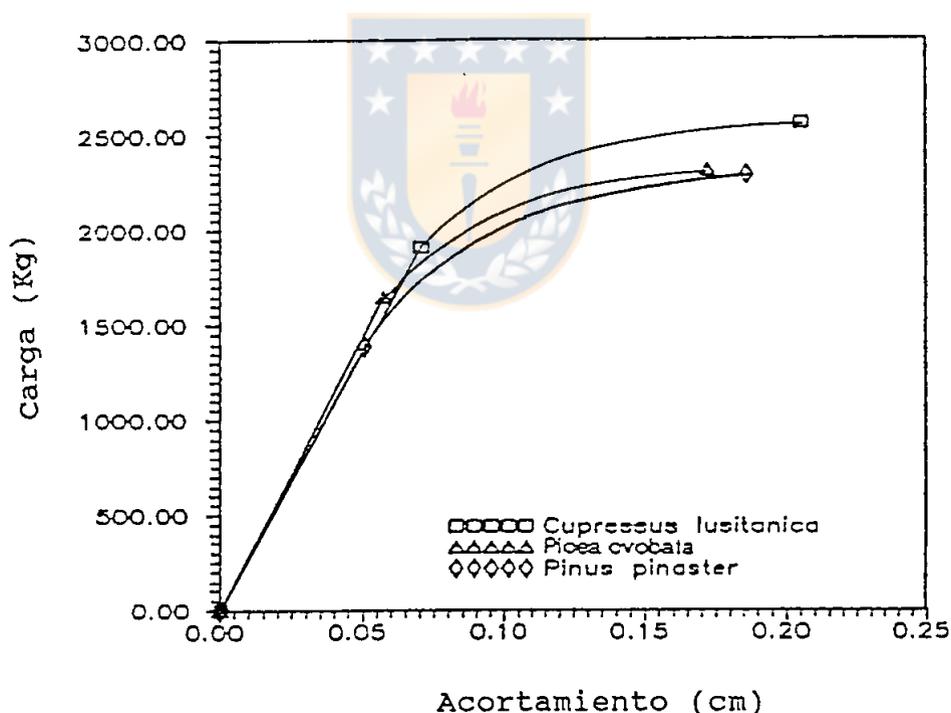


FIGURA 10. Curvas promedio para el ensayo de compresión paralela a las fibras, al 12 % de humedad.

Los resultados obtenidos en el estado verde (tabla 5), nos indican que ciprés es la especie más resistente a la compresión paralela por presentar una tensión de ruptura (RC), mayor que las otras dos especies, pero el análisis de las curvas (figura 11), nos muestra que la especie picea encierra la mayor área bajo su curva lo que nos indica que esta especie presenta una resistencia total mayor a la compresión paralela.

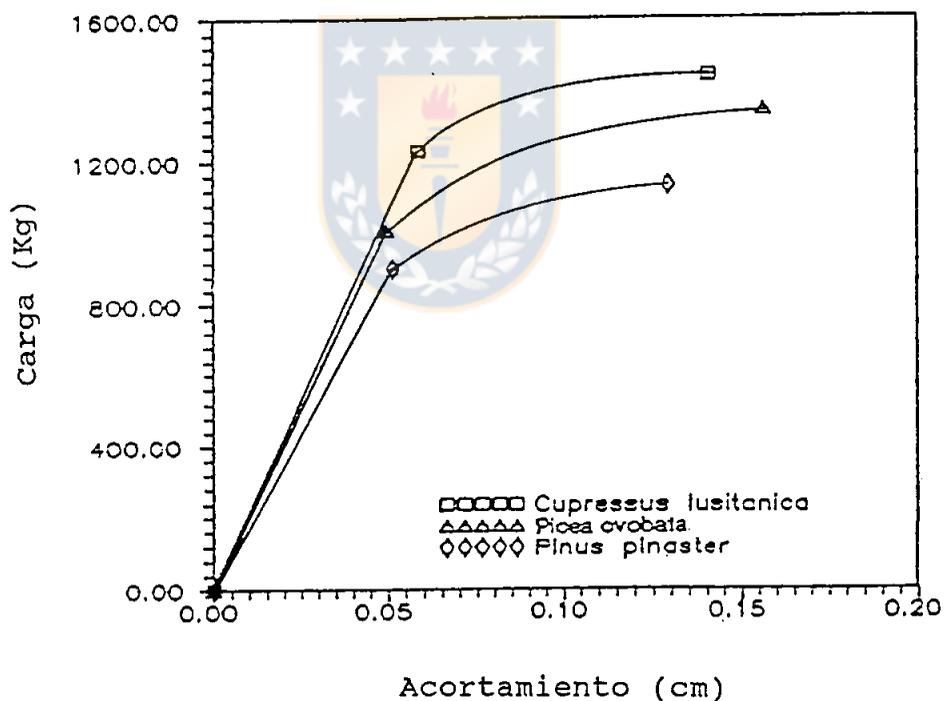


FIGURA 11. Curvas promedio para el ensayo de compresión paralela en estado verde.

Cizalle paralelo a las fibras.

En ambos ensayos, al 12 % y en estado verde, se observa que la tensión máxima de cizalle es mayor en el sentido tangencial, esto afecta en forma positiva al ensayo de flexión estática, puesto que en el se produce un efecto de cizalle tangencial, al ser flectadas las probetas.

Como se observa en la figura 12 en el ensayo al 12 % los mayores valores los presenta Pinus pinaster, tanto tangencial como radial, de ahí sus mejores características en flexión.

En el ensayo en estado verde, Cupressus lusitanica presenta los valores mayores, lo que puede ser la razón del aumento de su MOR en flexión en estado verde.

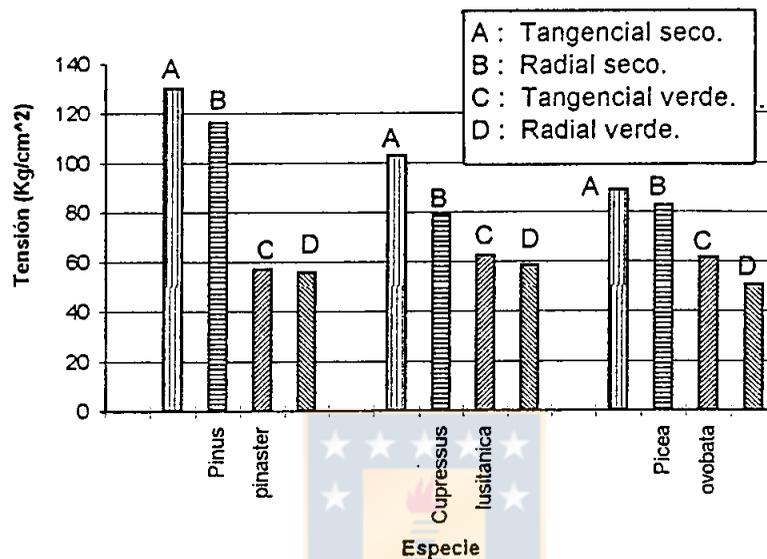


FIGURA 12. Tensión máxima de cizalle al 12 % de humedad y en estado verde.

Dureza Janka.

Al igual que en el caso de cizalle paralelo, la diferencia entre la dureza paralela a las fibras y normal a las fibras, es notoria siendo siempre mayor la dureza paralela a las fibras, tanto en el ensayo al 12 % de humedad como en el estado verde. Sin embargo es necesario considerar que las piezas de madera, en la mayoría de los casos, son

solicitadas en forma perpendicular a las fibras (normal). En este sentido, como se observa en la figura 13, la especie que presenta una mayor resistencia a la penetración al 12 % de humedad es Pinus pinaster y en estado verde es Cupressus lusitanica.

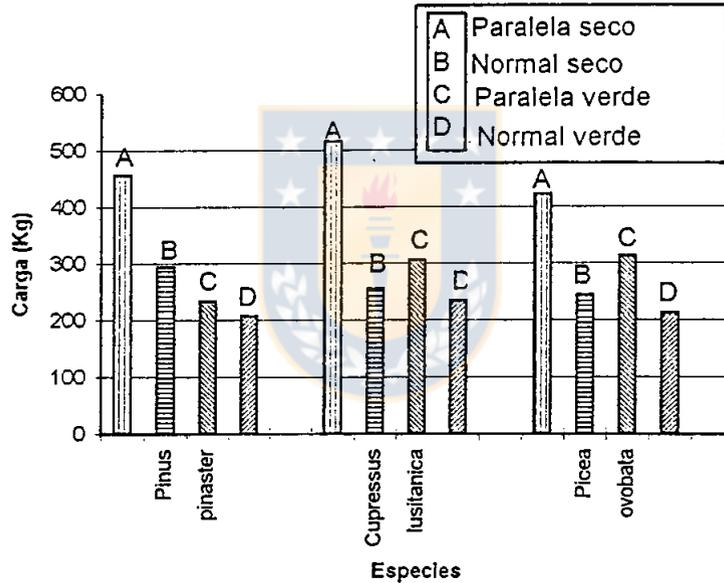


FIGURA 13. Dureza Janka al 12 % de humedad y en estado verde.

VI CONCLUSIONES.

- La especie Pinus pinaster sufre un cambio más notorio en sus propiedades de resistencia mecánica que las otras dos especies, por las variaciones de la humedad.
- La especie Pinus pinaster muestra valores mayores en flexión estática, en cizalle paralelo y dureza Janka normal, cuando la humedad es del 12 %. La flexión estática también es mayor en estado verde.
- La especie Cupressus lusitanica responde mejor en compresión paralela y dureza Janka paralela cuando la humedad es del 12 %. En estado verde presenta valores mayores en cizalle paralelo y dureza Janka normal.
- La especie Picea ovobata tiene una mayor resistencia total a la ruptura en compresión paralela y en dureza Janka paralela, en estado verde.

VII. RESUMEN.

Se determinaron las propiedades mecánicas en los ensayos de flexión estática, compresión paralela a las fibras, cizalle paralelo a las fibras y dureza Janka para individuos de una edad aproximada a 60 años de las especies Pinus pinaster, Cupressus lusitanica y Picea obovata que crecieron en el sector Los Guindos, de la Reserva Nacional Forestal Malleco.



SUMMARY

Mechanical properties have been measured of 60 years old trees of the following species: Pinus pinaster, Cupressus lusitanica and Picea obovata. These trees have been growing in Los Guindos site in the National Forest Malleco.

VIII. BIBLIOGRAFIA.

- 1.-American Society for Testing and Material:
ASTM D143-52: Standar methods of testing. Small
Clear Specimens of Timber.
- 2.- Benavente, G., Fernando., Propiedades mecánicas en
flexión de tres especies exóticas crecidas en la
Reserva Forestal Malleco. Universidad del Bio Bio,
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería
en Maderas. Concepción, Chile. 1993.
- 3.- Bier, H. 1986, Radiata Pine in cross - grain Bending.
NZ Journal of Timber Construction. Vol. 2, N° 1,
pp. 16 - 19.
- 4.- Bier, H., and Collins, M. J. 1985, Bending Propierties
of 100 * 50 mm Structural Timber from a 28 - year -
old stand of New Zealand Radiata Pine. NZ Journal
of Timber Construction. Vol. 1, N° 3, pp. 13 - 19.

- 5.- Booth, L., G. y Reece, P., O., The structural use of timber. A comentary on the British Standar Code of Practice CP 112. E. & F.N. Span ltda. London 1967.
- 6.- Carrasco P., Pedro., Caracterización Edafologica de la Reserva Forestal Malleco, Sector Los Guindos. En: Drake F., García J., Millán J. (Eds.). Estudios básicos sobre Volumetría, Crecimiento y Taxonomía en rodales de coníferas exóticas en el sector Los Guindos - Reserva Forestal Malleco, Comuna de Collipulli IX Región. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales, Concepción, Chile 1994. (En Prensa).
- 7.- CONAF., El rol de un actor preponderante. Chile Forestal N° 213., Enero - Febrero 1994., P. 28 - 31. Corporación Nacional Forestal. Santiago, 1994. Chile.
- 8.- Cuevas D., Hector e Inzunza D., Luis. Comportamiento mecánico de Cupressus lusitanica creciendo en Valdivia, Chile. En: Actas VII Reunion sobre investigación y desarrollo de productos forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile 1991.

- 9.- Díaz-Vaz O. Juan E., Cuevas D. Hector R., Ensayos Mecánicos de la Madera. Publicación Docente N° 8. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Serie Docente. Valdivia, 1982. Chile.
- 10.- Díaz-Vaz O. Juan E., Cuevas D. Hector R., Mecánica de la madera. Publicación Docente N° 23. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Serie Docente. Valdivia, 1986. Chile.
- 11.- Gonzalez L., D. G., Efecto de la intensidad de raleo sobre la densidad aparente de la madera de Pinus radiata D. Don. Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Chile 1987.
- 12.-Handbook of Softwoods. Forest Products Research Laboratory. Ministry of Technology Her Majesty's Stationery office. London 1957.
- 13.- INFOR - CORFO., Manual N° 10., Manual de Construcciones en Madera. 2ª edición. Volumen 1. Noviembre 1991. Santiago, Chile.

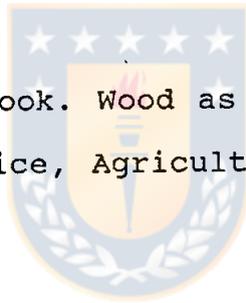
- 14.- Karsulovic C., Jose T. Propiedades mecánicas de la madera. Departamento de Tecnología de la madera, Facultad de Ciencias Agrarias, veterinarias y Forestales de la Universidad de Chile. Santiago, 1982. Chile.
- 15.- Koch, P. Utilization of the Southern Pine. Agriculture Handbook N° 420. USDA Forest Service. EEUU 1972.
- 16.- Kollman, F. P. y Côté A. Jr., Principles of Woods Science and Technology. Vol. 1, Solid Wood. 1968.
- 17.-Les resineux Francais. Cahier Du Centre Technique Du Bois et De L'Ameublement. Agence Francaise Pour la Maîtrise de L'Energie. 2ème Edition. Juillet 1986.
- 18.- Littleford, T. W., Variation of Strength proprieties Within trees and Between trees in a stand of rapid-Growth Douglas Fir. Forest Products Laboratories. Departament of Forestry. Canada 1961.

- 19.-Nch - 968, Madera - Selección, obtención y acondicionamiento de muestras y probetas para la determinación de propiedades físicas y mecánicas.
- 20.-Nch - 987, Madera - Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de flexión estática.
- 21.-Nch - 973, Madera - Determinación de las propiedades mecánicas . Ensayo de compresión paralela.
- 22.-Nch - 978, Madera - Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de dureza.
- 23.-Nch - 976, Madera - Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de cizalle paralelo a las fibras.
- 24.- Norambuena C-C., A. N., Determinación de algunas propiedades mecánicas de Laurelia philippiana y Nothofagus dombeyi en base a tres métodos normalizados. Tesis de grado, Instituto de Tecnología de la madera. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia 1967.

- 25.-Plan de manejo para la Reserva Forestal Malleco. Oficina de programación XI Zona CONAF. Proyecto Fortalecimiento Forestal, FAO: CHI - 526. Chile, 1975.
- 26.- Panshin A. J., and De Zeeuw, C., Textbook of Wood Technology. Structure, Identification, Properties and User of the Commercial Woods of the United States and Canada. Fourth Edition. 1980.
- 27.- Parodi, R., Lorenzo., Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Descripción de las plantas cultivadas. Vol. 1. Buenos Aires, Argentina. 1959.
- 28.- Pérez, G., Vicente A., Manual de Construcciones en Madera. Manual N° 10. Instituto Forestal. Santiago, Chile 1978.
- 29.- Retamal P., Alejandro G., (et al), Características físico - mecánicas de 10 especies de Eucalyptus crecidas en Chile. En Informe Técnico. Instituto Forestal. N° 84, 1982.

- 30.- Rodríguez, R. Guillermo., y Rodríguez, R. Roberto.,
Estudio Taxonómico y rodales de especies presente
en el sector Los Guindos, Reserva Forestal
Malleco. En: Drake F., García J., Millán J.
(Eds.). Estudios básicos sobre Volumetría,
Crecimiento y Taxonomía en rodales de coníferas
exóticas en el sector Los Guindos - Reserva
Forestal Malleco, Comuna de Collipulli IX Región.
Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias
Forestales, Concepción, Chile 1994. (En Prensa).
- 31.- Rodríguez, Guillermo., Las especies de Pinaceas
cultivadas en Chile. Revista Bosque, Vol. 4, N° 1.
pp. 25 - 43, Chile. 1981.
- 32.- Timoshenko, S., Resistencia de Materiales. Vol. 1,
16° Edición, editorial descriptiva.
Madrid:Espasa-Calpe, 1989.
- 33.- Torres, O., Hernan, Maderas., Corporación de la
Madera. Chile, 1971.
- 34.- Torricelli, D., Eduardo., Propiedades físicas y
mecánicas de las maderas Chilenas. Ministerio de
Tierras y Colonización. Santiago, 1941. Chile.

- 35.- Tuset Rinaldo., Caracteres Físico mecánicos de algunas maderas de interés comercial en el Uruguay. Apartado de AIA, revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos N° 102, Enero - Junio de 1958. Ministerio de Ganaderia y Agricultura., División Forestal., Montevideo, Uruguay.
- 36.- USDA Specific Gravity - Strength Relations for Woods. Report N° 1303, Forest Products Laboratory, Forest Service. USDA. EEUU 1956.
- 37.- USDA Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. Forest Service, Agriculture Handbook N° 72. EEUU 1987.



IX. APENDICE.

Se entregan los resultado en extenso, obtenidos en los diferentes ensayos.

Glosario.

- 1.- MOE : Módulo de elasticidad.
- 2.- MOR : Módulo de ruptura en flexión estática.
- 3.- TLP : Tensión en el límite proporcional en flexión estática.
- 4.- RC : Tensión de ruptura en compresión paralela.
- 5.- Fclp: Tensión en el límite proporcional en compresión paralela.
- 6.- DB : Densidad básica (peso seco / volumen verde).
- 7.- DN : Densidad nominal (peso seco / volumen 12 %).
- 8.- CH : Contenido de humedad.

TABLA 1A. RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS EN Pinus
pinaster AL 12 % DE HUMEDAD.

| ESPECIE: Pinus pinaster | | ESTADO: SECO | | | |
|--|--------------------|-------------------|----------------|------------------------|--------------------------------|
| Propiedad o Ensayo | Unidades | Tamaño Muestra | Valor Medio | Desviación Estandar | Coefficiente Variación % |
| FLEXION ESTATICA | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 48 | 90875,00 | 10790,20 | 11,87 |
| MOR | Kg/cm ² | 48 | 803,70 | 96,70 | 12,03 |
| TLP | Kg/cm ² | 48 | 548,30 | 53,50 | 9,76 |
| DB | g/cm ³ | 48 | 0,474 | — | — |
| COMPR. PARALELA | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 18 | 61994,91 | 27829,06 | 44,89 |
| RC | Kg/cm ² | 18 | 376,82 | 46,07 | 12,23 |
| Fcp | Kg/cm ² | 18 | 228,87 | 85,08 | 37,18 |
| DB | g/cm ³ | 18 | 0,451 | 0,036 | 7,89 |
| CH | % | 18 | 12,77 | 0,77 | 6,05 |
| CIZALLE PARALELO TANGENCIAL | | | | | |
| T. MAX. CIZALLE | Kg/cm ² | 22 | 130,17 | 21,34 | 16,40 |
| DB | g/cm ³ | 22 | 0,477 | 0,04 | 8,14 |
| CH | % | 22 | 12,33 | 0,35 | 2,85 |
| CIZALLE PARALELO RADIAL | | | | | |
| T. MAX. CIZALLE | Kg/cm ² | 21 | 116,19 | 16,85 | 14,50 |
| DB | g/cm ³ | 21 | 0,475 | 0,02 | 5,13 |
| CH | % | 21 | 12,93 | 0,61 | 4,71 |
| DUREZA | | | | | |
| DUREZA PARALELA | Kg | 19 | 456,32 | 30,68 | 6,72 |
| DUREZA NORMAL | Kg | 19 | 293,42 | 32,38 | 11,04 |
| DB | g/cm ³ | 19 | 0,471 | 0,03 | 6,95 |
| CH | % | 19 | 12,47 | 0,67 | 5,36 |

TABLA 2A. RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS EN Picea ovobata
AL 12 % DE HUMEDAD.

| ESPECIE: Picea ovobata | | ESTADO : SECO | | | |
|------------------------------------|--------------------|-------------------|----------------|------------------------|--------------------------------|
| Propiedad o Ensayo | Unidades | Tamaño Muestra | Valor Medio | Desviación Estandar | Coefficiente Variación % |
| FLEXION ESTATICA | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 43 | 91419,80 | 12694,70 | 13,89 |
| MOR | Kg/cm ² | 43 | 679,80 | 97,50 | 14,34 |
| TLP | Kg/cm ² | 43 | 521,60 | 52,30 | 10,03 |
| DB | g/cm ³ | 43 | 0,420 | 0,05 | 11,19 |
| COMPR. PARALELA | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 26 | 53502,66 | 25572,78 | 47,80 |
| RC | Kg/cm ² | 26 | 361,04 | 45,05 | 12,48 |
| Fclp | Kg/cm ² | 26 | 256,42 | 58,13 | 22,67 |
| DB | g/cm ³ | 26 | 0,384 | 0,034 | 8,83 |
| CH | % | 26 | 12,68 | 0,60 | 4,74 |
| CIZALLE PARALELO TANGENCIAL | | | | | |
| T. MAX. CIZALLE | Kg/cm ² | 21 | 88,77 | 10,54 | 11,88 |
| DB | g/cm ³ | 21 | 0,360 | 0,04 | 9,96 |
| CH | % | 21 | 12,63 | 0,47 | 3,72 |
| CIZALLE PARALELO RADIAL | | | | | |
| T. MAX. CIZALLE | Kg/cm ² | 22 | 82,59 | 16,75 | 20,28 |
| DB | g/cm ³ | 22 | 0,371 | 0,04 | 9,92 |
| CH | % | 22 | 12,92 | 0,52 | 4,05 |
| DUREZA | | | | | |
| DUREZA PARALELA | Kg | 16 | 421,25 | 34,67 | 8,23 |
| DUREZA NORMAL | Kg | 16 | 243,91 | 33,68 | 13,81 |
| DB | g/cm ³ | 16 | 0,397 | 0,04 | 10,44 |
| CH | % | 16 | 12,42 | 0,77 | 6,22 |

TABLA 3A. RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS EN Cupressus lusitanica AL 12 % DE HUMEDAD.

| ESPECIE: Cupressus lusitanica | | ESTADO : SECO | | | |
|------------------------------------|--------------------|----------------|-------------|---------------------|--------------------------|
| Propiedad o Ensayo | Unidades | Tamaño Muestra | Valor Medio | Desviación Estandar | Coefficiente Variación % |
| FLEXION ESTATICA | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 40 | 86945,40 | 7407,90 | 8,52 |
| MOR | Kg/cm ² | 40 | 710,10 | 86,40 | 12,17 |
| TLP | Kg/cm ² | 40 | 448,30 | 67,60 | 15,08 |
| DB | g/cm ³ | 40 | 0,559 | 0,23 | 40,61 |
| COMPR. PARALELA | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 20 | 47997,11 | 20213,90 | 42,11 |
| RC | Kg/cm ² | 20 | 407,25 | 52,82 | 12,97 |
| Felp | Kg/cm ² | 20 | 304,18 | 39,85 | 13,10 |
| DB | g/cm ³ | 20 | 0,420 | 0,030 | 7,27 |
| CH | % | 20 | 12,41 | 0,81 | 6,54 |
| CIZALLE PARALELO TANGENCIAL | | | | | |
| T. MAX. CIZALLE | Kg/cm ² | 24 | 103,04 | 20,38 | 19,77 |
| DB | g/cm ³ | 24 | 0,408 | 0,03 | 8,18 |
| CH | % | 24 | 12,22 | 0,68 | 5,55 |
| CIZALLE PARALELO RADIAL | | | | | |
| T. MAX. CIZALLE | Kg/cm ² | 21 | 78,99 | 13,29 | 16,83 |
| DB | g/cm ³ | 21 | 0,401 | 0,03 | 6,53 |
| CH | % | 21 | 12,78 | 0,91 | 7,10 |
| DUREZA | | | | | |
| DUREZA PARALELA | Kg | 22 | 515,00 | 16,55 | 3,21 |
| DUREZA NORMAL | Kg | 22 | 255,80 | 31,29 | 12,23 |
| DB | g/cm ³ | 22 | 0,407 | 0,02 | 6,01 |
| CH | % | 22 | 12,28 | 0,54 | 4,43 |

TABLA 4A. RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS EN Pinus
pinaster, EN ESTADO VERDE.

| ESPECIE: Pinus pinaster | | ESTADO: VERDE | | | |
|--|--------------------|-------------------|----------------|------------------------|--------------------------------|
| Propiedad o Ensayo | Unidades | Tamaño Muestra | Valor Medio | Desviación Estandar | Coefficiente Variación % |
| FLEXION ESTATICA | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 44 | 77504,50 | 13249,50 | 17,10 |
| MOR | Kg/cm ² | 44 | 485,80 | 33,60 | 6,92 |
| TLP | Kg/cm ² | 44 | 256,10 | 21,50 | 8,40 |
| DB | g/cm ³ | 44 | 0,456 | 0,04 | 8,77 |
| COMPR. PARALELA | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 26 | 28304,83 | 8619,33 | 30,45 |
| RC | Kg/cm ² | 26 | 171,18 | 35,60 | 20,80 |
| Felp | Kg/cm ² | 26 | 136,28 | 37,31 | 27,38 |
| DB | g/cm ³ | 26 | 0,415 | 0,027 | 6,49 |
| CH | % | 26 | 132,61 | 35,75 | 26,96 |
| CIZALLE PARALELO TANGENCIAL | | | | | |
| T. MAX. CIZALLE | Kg/cm ² | 17 | 56,92 | 8,83 | 15,52 |
| DB | g/cm ³ | 17 | 0,402 | 0,04 | 9,03 |
| CH | % | 17 | 135,59 | 38,20 | 28,17 |
| CIZALLE PARALELO RADIAL | | | | | |
| T. MAX. CIZALLE | Kg/cm ² | 17 | 55,65 | 7,42 | 13,34 |
| DB | g/cm ³ | 17 | 0,424 | 0,03 | 6,27 |
| CH | % | 17 | 107,90 | 33,82 | 31,34 |
| DUREZA | | | | | |
| DUREZA PARALELA | Kg | 28 | 233,23 | 34,00 | 14,58 |
| DUREZA NORMAL | Kg | 28 | 207,47 | 27,93 | 13,46 |
| DB | g/cm ³ | 28 | 0,423 | 0,02 | 4,50 |
| CH | % | 28 | 134,61 | 21,33 | 15,84 |

TABLA 5A. RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS EN Picea ovobata, EN ESTADO VERDE.

| ESPECIE: Picea ovobata | | ESTADO : VERDE | | | |
|------------------------------------|--------------------|----------------|-------------|---------------------|--------------------------|
| Propiedad o Ensayo | Unidades | Tamaño Muestra | Valor Medio | Desviación Estandar | Coefficiente Variación % |
| FLEXION ESTATICA | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 63 | 85639,30 | 12310,90 | 14,38 |
| MOR | Kg/cm ² | 63 | 455,80 | 70,30 | 15,42 |
| TLP | Kg/cm ² | 63 | 279,80 | 59,40 | 21,23 |
| DB | g/cm ³ | 63 | 0,340 | 0,03 | 9,71 |
| COMPR. PARALELA | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 21 | 33899,91 | 13944,54 | 41,13 |
| RC | Kg/cm ² | 21 | 205,84 | 42,64 | 20,72 |
| Felp | Kg/cm ² | 21 | 154,39 | 50,22 | 32,53 |
| DB | g/cm ³ | 21 | 0,368 | 0,044 | 11,94 |
| CH | % | 21 | 119,38 | 46,57 | 39,01 |
| CIZALLE PARALELO TANGENCIAL | | | | | |
| T. MAX. CIZALLE | Kg/cm ² | 15 | 61,51 | 8,30 | 13,50 |
| DB | g/cm ³ | 15 | 0,384 | 0,05 | 12,73 |
| CH | % | 15 | 142,80 | 45,75 | 32,04 |
| CIZALLE PARALELO RADIAL | | | | | |
| T. MAX. CIZALLE | Kg/cm ² | 15 | 50,65 | 7,78 | 15,37 |
| DB | g/cm ³ | 15 | 0,356 | 0,03 | 9,06 |
| CH | % | 15 | 145,00 | 29,49 | 20,34 |
| DUREZA | | | | | |
| DUREZA PARALELA | Kg | 26 | 312,17 | 21,56 | 6,91 |
| DUREZA NORMAL | Kg | 26 | 212,35 | 14,60 | 6,87 |
| DB | g/cm ³ | 26 | 0,367 | 0,04 | 10,49 |
| CH | % | 26 | 167,78 | 23,51 | 14,01 |

TABLA 6A. RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS EN Cupressus lusitanica, EN ESTADO VERDE.

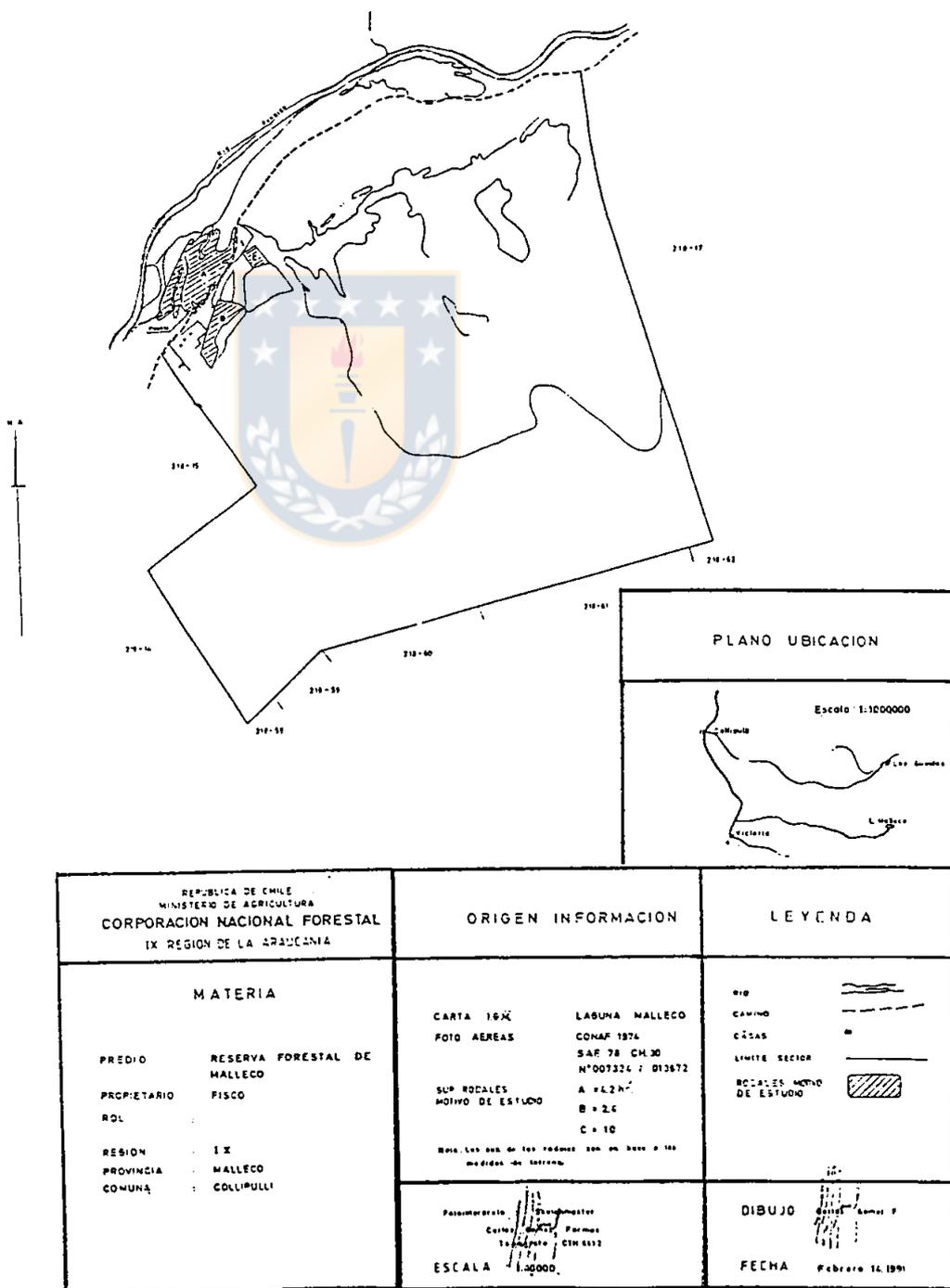
| ESPECIE: Cupressus lusitanica | | ESTADO : VERDE | | | |
|------------------------------------|--------------------|-------------------|----------------|------------------------|--------------------------------|
| Propiedad o Ensayo | Unidades | Tamaño Muestra | Valor Medio | Desviación Estandar | Coefficiente Variación % |
| FLEXION ESTATICA | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 42 | 70795,40 | 20777,70 | 29,35 |
| MOR | Kg/cm ² | 42 | 537,80 | 79,96 | 14,87 |
| TLP | Kg/cm ² | 42 | 272,10 | 63,23 | 23,24 |
| DB | g/cm ³ | 42 | 0,467 | 0,04 | 8,57 |
| COMPR. PARALELA | | | | | |
| MOE | Kg/cm ² | 27 | 36042,86 | 13766,21 | 38,19 |
| RC | Kg/cm ² | 27 | 222,05 | 33,50 | 15,09 |
| Fc _p | Kg/cm ² | 27 | 189,06 | 56,04 | 29,64 |
| DB | g/cm ³ | 27 | 0,402 | 0,024 | 6,02 |
| CH | % | 27 | 132,16 | 39,60 | 29,96 |
| CIZALLE PARALELO TANGENCIAL | | | | | |
| T. MAX. CIZALLE | Kg/cm ² | 17 | 62,54 | 15,25 | 24,39 |
| DB | g/cm ³ | 17 | 0,389 | 0,02 | 6,06 |
| CH | % | 17 | 45,50 | 21,88 | 48,09 |
| CIZALLE PARALELO RADIAL | | | | | |
| T. MAX. CIZALLE | Kg/cm ² | 16 | 58,44 | 13,09 | 22,40 |
| DB | g/cm ³ | 16 | 0,373 | 0,03 | 7,22 |
| CH | % | 16 | 44,80 | 16,08 | 35,90 |
| DUREZA | | | | | |
| DUREZA PARALELA | Kg | 29 | 306,57 | 26,24 | 8,56 |
| DUREZA NORMAL | Kg | 29 | 234,93 | 19,75 | 8,41 |
| DB | g/cm ³ | 29 | 0,399 | 0,02 | 6,21 |
| CH | % | 29 | 133,45 | 16,55 | 12,40 |

X. ANEXOS.

ANEXO 1

FIGURA 1B. Plano de la Reserva Forestal Malleco.

LOS GUINDOS



ANEXO 2

Descripción de suelos de la Reserva Forestal Malleco,
sector Los Guindos.

Según Carrasco, 1994, la descripción de los suelos de la Reserva Forestal Malleco, sector Los Guindos es la siguiente:

Calicata plantación de Picea ovobata.

Geomorfología: terraza aluvial reciente.

Material generador: rocas y arenas andesíticas y
basálticas.

Descripción física y morfológica del perfil.

0 - 6 cm : color 10 YR 2/1 en húmedo (negro); textura areno
francoso; estructura de grano simple; no plástico
ni adhesivo; abundancia de raíces y raicillas;
límite inferior lineal.

6 - 22 cm : color 10 YR 2/1 en húmedo (negro); textura
areno francoso; estructura de grano simple; no

plástico ni adhesivo; raíces y raicillas abundantes; límite inferior difuso, mezclado con grava y roca redondeada.

Calicata plantación Cupressus lusitanica.

Geomorfología : lomajes de topografía abrupta.

Material generador : cenizas modernas, volcánicas, andesíticas y basálticas.

Descripción física y morfológica del perfil.

0 - 14 cm : color 10 YR 3/4 en húmedo (pardo oscuro amarillento); textura franca; estructura granular; ligeramente plástico y adhesivo; suelto y pulverulento en seco; abundancia de raíces y raicillas; límite inferior lineal.

14 - 30 cm : color 7.5 YR 3/2 en húmedo (pardo oscuro); textura franco arenosa; estructura granular; ligeramente plástico y adhesivo en húmedo; suelto y pulverulento en seco; abundancia de raíces y raicillas comunes; límite inferior difuso.

30 - 93 cm : color 5 YR 3/4 en húmedo (pardo rojizo oscuro); textura franco arenosa; estructura de bloques subangulares medios y finos débiles; plástico y adhesivo en húmedo; raíces y raicillas comunes.

Calicata plantación de Pinus pinaster.

Geomorfología : lomajes de topografía abrupta, disectado por quebradas de curso intermitente.

Material generador : cenizas volcánicas modernas andesíticas y basálticas.

Descripción física y morfológica del perfil.

0 - 11 cm : color 10 YR 3/4 en húmedo (pardo oscuro amarillento); textura franca; estructura granular; alto contenido de materia orgánica; muy poroso; ligeramente plástico y adhesivo; suelto y pulverulento en seco; abundancia de raíces y raicillas; límite inferior lineal.

11 - 43 cm : color 7.5 YR 3/2 en húmedo (pardo oscuro); textura franco arenosa; estructura granular;

ligeramente plástico y adhesivo en húmedo; suelto y pulverulento en seco; abundancia de raíces y raicillas comunes; límite inferior difuso.

43 - 77 cm : color 5 YR 3/4 en húmedo (pardo rojizo oscuro); textura franco arenosa; estructura de bloques subangulares medios y finos débiles; plástico y adhesivo en húmedo; raíces y raicillas comunes.

77 - 110 cm: color 10 YR 6/6 en húmedo (amarillo parduzco); textura franco arenosa; estructura de bloques débiles que rompen a grado simple; plástico y adhesivo en húmedo; raíces y raicillas escasas.

ANEXO 3.

Flexión estática.

Norma Nch 987 de 1986, en su parte alternativa, la cual utiliza probetas de menores dimensiones, manteniendo la relación 1/14, existente entre el espesor de la probeta y su largo. Estas probetas libres de defectos, y de 25*25*400 mm se ensayan ejerciendo una carga, a una velocidad de 2,5 mm/min, no variando más allá de un 25 %, en el centro de la luz (FIGURA 2B); se registra la deflexión cada ciertos intervalos de carga. los datos obtenidos permiten obtener las gráficas necesarias para la obtención de los parametros que caracterizan a la flexión estática.

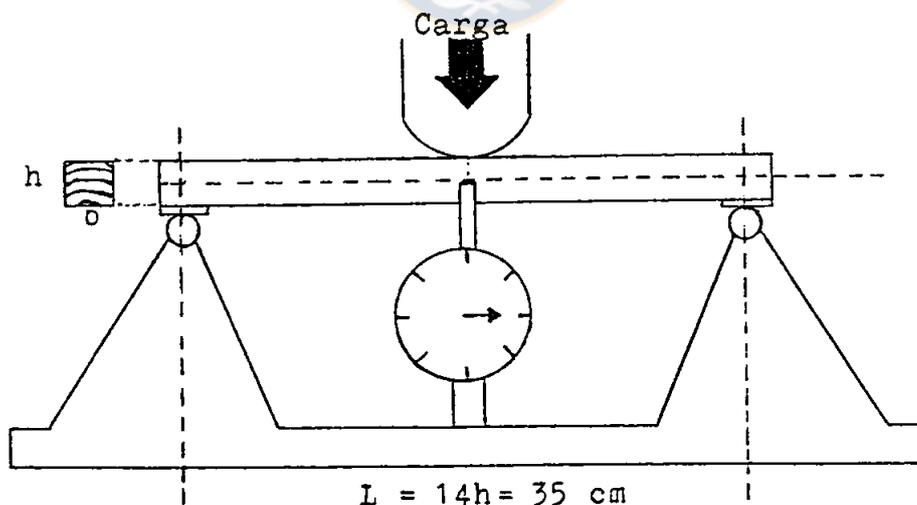


FIGURA 2B. Esquema del ensayo de flexión estática.

Compresión paralela a las fibras.

Norma Nch 973 de 1986, parte alternativa. Utiliza probetas (libre de defectos), de 25*25*100 mm, se ensayan aplicando una carga a una velocidad de 0,6 mm/min., no variando más allá de un 25 %, en uno de los extremos en forma paralela a las fibras. (FIGURA 3B). Se registra el acortamiento cada ciertos intervalos de carga. Los datos generados permiten la obtención de los parametros que caracterizan a la compresión paralela a las fibras.

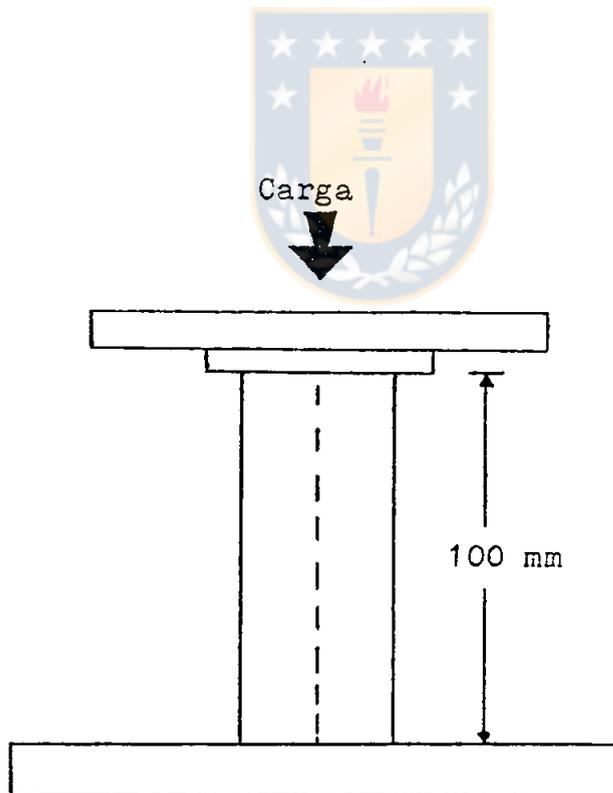


FIGURA 3b. Esquema del ensayo de compresión paralela.

Cizalle paralelo a las fibras.

Norma Nch 976 de 1986, utiliza probetas libres de defectos con forma de silla de una altura máxima de 65 mm, una sección de 50*50 mm y un plano de falla de 50*50 mm a 20 mm de una de las caras, sea ésta tangencial o radial. Se aplica una carga a una velocidad de 0.6 mm/min., no variando más allá de un 25 % sobre el plano de falla.(FIGURA 4B). Se registra la carga máxima en cada ensayo.

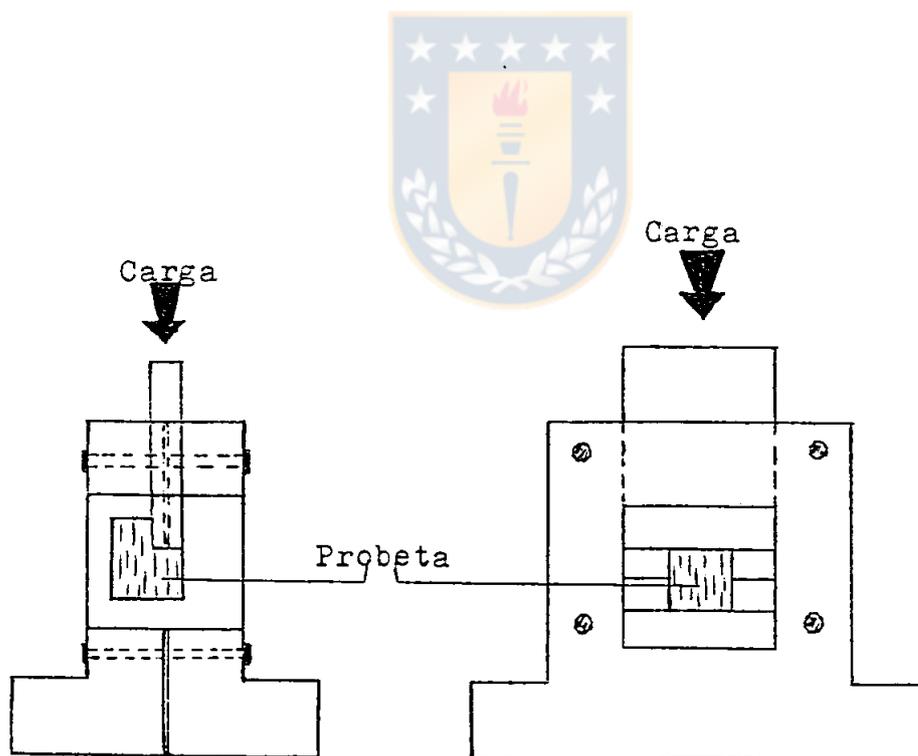


FIGURA 4B. Esquema del ensayo de cizalle.

Dureza Janka.

Norma Nch 978 de 1986, utiliza probetas, libres de defecto, de 50*50*150 mm. Consiste en hacer penetrar una esfera de 11,3 mm de diámetro, a una velocidad de 6 mm/min., no variando más allá de un 25 %, en las caras tangencial, radial y en los extremos, hasta la mitad de su diámetro. (FIGURA 5B). Se registran las cargas máximas.

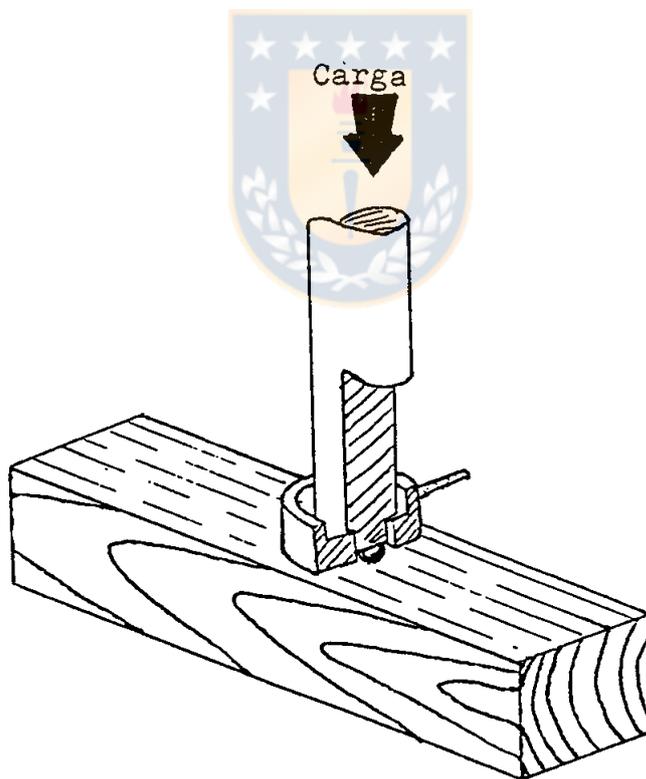


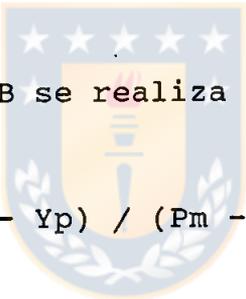
FIGURA 5B. Esquema del ensayo de dureza.

ANEXO 4

Cálculo del Coeficiente Plástico de Janka.

La determinación de éste coeficiente se realiza en base a las gráficas obtenidas para el ensayo de flexión estática como el cociente de las magnitudes obtenidas de las diferencias de cargas y deflexiones máximas.

En base a la figura 6B se realiza el siguiente cálculo:


$$Z = (Y_m - Y_p) / (P_m - P_p)$$

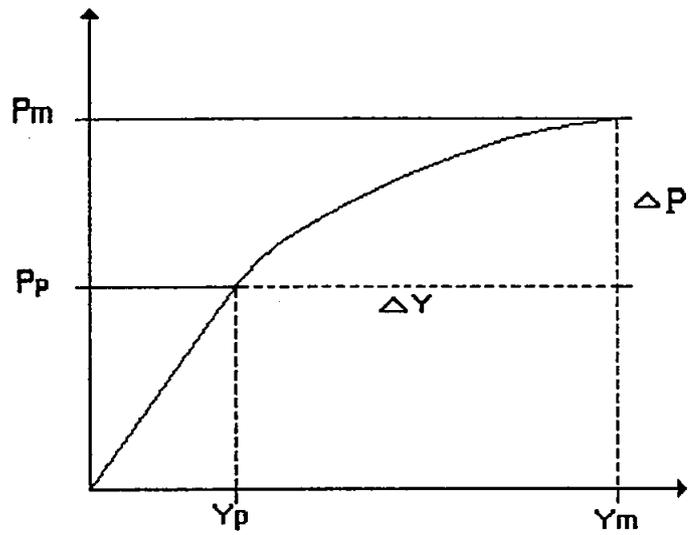
Z = Coeficiente Plástico de Janka.

Y_m = Deflexión a la carga máxima.

Y_p = Deflexión al límite proporcional.

P_m = Carga máxima.

P_p = Carga al límite proporcional.



$$\Delta Y = Y_m - Y_p$$

$$\Delta P = P_m - P_p$$

Figura 6B. Coeficiente plástico de Janka.