

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente

DETERMINACION DEL TRABAJO EN FLEXIÓN PARA MADERA

DE Pinus radiata D.Don DE 18 AÑOS DE EDAD



por


JUAN DARIO SALAS SALINAS

MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE
1997

DETERMINACION DEL TRABAJO EN FLEXION PARA MADERA
DE Pinus radiata D.Don DE 18 AÑOS DE EDAD.

Profesor Asesor


Luis Valenzuela Hurtado

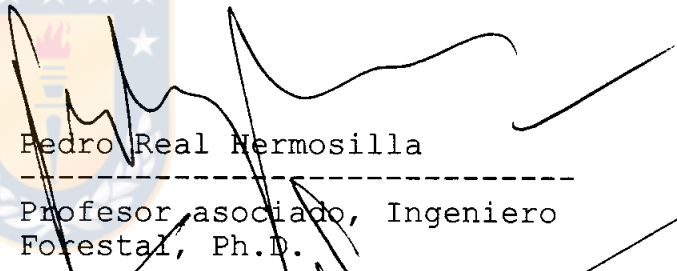
Profesor asociado. Ingeniero
de Ejecución en Maderas.
Ph.D.

Profesor Asesor


Roberto Melo Sanhueza.

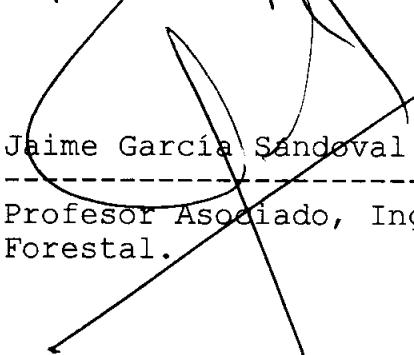
Profesor titular, Ingeniero
Civil Químico

Director Departamento
Manejo de Bosques y Medio
Ambiente


Pedro Real Nermosilla

Profesor asociado, Ingeniero
Forestal, Ph.D.

Decano Facultad de Ciencias
Forestales


Jaime García Sandoval

Profesor Asociado, Ingeniero
Forestal.

Calificación de la memoria de título:

Luis Valenzuela Hurtado: 85

Roberto Melo Sanhueza: 87

A Dios el gran Arquitecto del Universo.

A mis Padres Juan Antonio y Clara Irene

Y

A mis Hermanos Esteban y Marcela.

AGRADECIMIENTOS

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

- Don Luis Valenzuela Hurtado, Profesor asesor, por su gran apoyo y amistad.
- Don Roberto Melo, Profesor Co - asesor, por haber aceptado colaborar en este estudio con sus sabios conocimientos y consejos.
- Mis amigos y compañeros de Facultad que estuvieron cerca de mi durante mi formación personal y profesional.



INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINAS
I. INTRODUCCION	1
II. MATERIAL Y METODOS.....	6
2.1. Antecedentes Generales	6
2.2. Especie Estudiada	8
2.3. Materiales	10
2.4. Descripción del ensayo en flexión estática	11
2.5. Metodología de trabajo	12
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
3.1. Resumen de resultados	15
3.2. Discusión de cada variable en estudio	21
3.2.1. Trabajo elástico	21
3.2.2. Trabajo plástico	23
3.2.3. Trabajo total	24
3.2.4. Coeficiente de Tetmajer	25
3.2.5. Módulo plástico de Janka	27
3.2.6. Trabajo específico de Janka ...	29
3.3. Comparaciones porcentuales	30
3.4. Agrupamiento de la especie <u>Pinus radiata</u> D.Don según su Resistencia	32
3.5. Correspondencia de la especie <u>Pinus radiata</u> D.Don a su clase Estructural	33
VI. CONCLUSIONES	34
V. RESUMEN	35
SUMMARY	36
VI. BIBLIOGRAFÍA	38
VII. APENDICES	43
VIII. ANEXOS	48

INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
<u>En el Texto.</u>	
1 Número de podas realizadas al rodal a su altura y edad respectiva.....	7
2 Número de raleos realizados en el Rodal a su edad respectiva.....	7
3 Valores promedio en estado <u>verde</u> (>40% C.H.) para los Trabajos en flexión, los parámetros Comparativos del trabajo y otras propiedades Mecánicas y Físicas de la especie <u>Pinus radiata</u> D.Don.....	15
4 Valores promedio en estado <u>seco</u> (12% C.H.) para los Trabajos en flexión, los parámetros Comparativos del trabajo y otras propiedades Mecánicas y Físicas de la especie <u>Pinus radiata</u> D.Don.....	16
0 Muestra la agrupación del pino joven y del Pino adulto según Nch 1989.....	32
1 Tensión admisible y MOE con la asignación de la especie a su correspondiente clase Estructural.....	34

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el texto.</u>	
1 Definición del árbol fraccionado.....	10
2 Valores promedio del trabajo elástico en estado seco y verde para la especie estudiada.....	21
3 Valores promedio del trabajo plástico en estado seco y verde para la especie estudiada.....	23
4 Valores promedio del trabajo total en estado seco y verde para la especie estudiada.....	24
5 Valores medios del Coeficiente de Tetmajer en estado seco y verde, para la especie en estudiada.....	25
6 Valores medios del Módulo plástico de Janka en estado seco y verde, para la especie en estudio.....	27
7 Valores medios del Trabajo específico de Janka en estado seco y verde, para la especie en estudio.....	29
8 Comparación de los valores promedios del Trabajo elástico, plástico y total para la especie en estudio en estado seco.....	30
9 Comparación de los valores promedios del Trabajo elástico, plástico y total para la especie en estudio en estado verde.....	31

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el anexo.</u>	
10 Comportamiento gráfico de la madera cuando se aplica una carga y su correspondiente deformación.....	48
11 Diagrama para el cálculo del factor de Corrección "Q"	54
12 Diagrama que muestra la curva típica carga / deflexión.....	56
13 Esquema del ensayo de flexión estática.....	60



I. INTRODUCCION

El pino radiata, pino insigne o pino Monterrey es nativo de la costa de California, Estados Unidos. Como especie exótica se utiliza mucho en Chile, Nueva Zelanda y Australia. En Chile esta especie fue introducida al final del siglo pasado y desde ahí fue considerada la conífera más importante para plantación y reforestación, en estos momentos es la madera más usada en la fabricación de productos forestales.

Esta especie requiere que el silvicultor le intervenga continuamente para mejorar su calidad, las técnicas que se efectúan, se realizan para asegurar la calidad de los fustes, el espaciamiento (raleo), la proporción de copa viva (poda) y las características de crecimiento deseables dentro de un rodal en desarrollo (Hawley y Smith, 1972; Daniel et.al.,1982).

En Chile el raleo y la poda son prácticas silvícolas recurrentes dentro de los esquemas de manejo actuales aplicados a los bosques de producción de pino insigne, el efecto combinado que el raleo y la poda ejercen sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera aún no está validado para poder determinar si se justifica la obtención de madera de mayor calidad (Puentes, 1996).

Nicholls (1971), citado por Cown (1972), señala que la densidad de la madera no fue afectada dentro de un amplio rango de intensidades de raleo; Fielding (1968) y Cown (1972) indican que la poda tiende a incrementar la densidad de la madera en aproximadamente un 7% durante 2 a 3 años después del tratamiento, estos efectos son de una pequeña significancia en la madera.

Por otra parte la incidencia de la edad del árbol sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera del pino insigne pareciera estar más demostrada ya que a mayor edad de la madera esta aumenta sus propiedades (Pérez, 1989; Melo y Paz, 1996; Valenzuela, 1996).

Este pino es una conífera de densidad, resistencia y rigidez media cuando su madera juvenil y madera madura son promediadas (Valenzuela y Nakayama, 1991), además soporta niveles superiores de esfuerzo comparado con otros materiales de igual peso (Melo y Paz, 1995; Aguayo y Alarcón; 1995).

Es importante destacar que todo esfuerzo (carga por unidad de superficie) aplicado en la madera, produce una deformación; hasta un cierto límite, la deformación es proporcional al esfuerzo aplicado (Valenzuela, 1996).

Si relacionamos (anexo 1), considerando en la ordenada los esfuerzos y en las abscisas la deformación, se observará una variación lineal de estos factores en una primera zona (área elástica), en esta zona si se aplican cargas adicionales para luego ser retiradas, se observa que el material continúa con su forma y dimensiones originales mientras no alcance un valor límite (límite proporcional o elástico (anexo 4)) pasado este punto, varía el comportamiento del material, se genera una variación en sus dimensiones por lo que queda deformado (área plástica) (Gascón, 1997).

Panshin y De Zeeuw (1980) indican que la deformación de la madera bajo carga es el resultado de dos componentes independientes, actuando simultáneamente; el primero es el comportamiento elástico de la madera, que es resultado de la presencia de microfibrillas (trenzado de fibrillas elementales; el conjunto de microfibrillas (10) compone la macrofibrillas y estas a su vez se unen para formar la pared celular) que muestran una respuesta elástica a la aplicación de la carga, es decir, la deformación es totalmente recuperable cuando la carga es removida; el segundo componente es la deformación plástica de la madera que ocurre como resultado de las propiedades de flujo de la fracción de

lignina de la pared celular bajo carga. La recuperación de la deformación plástica es lenta y eventualmente se recupera sólo alrededor de la mitad de la deformación total.

Si la madera exige un aumento considerable del esfuerzo para producir una deformación dada, tendrá un valor bastante grande del módulo de elasticidad (MOE (anexo 2)), recíprocamente, si el valor del MOE es bajo, el material carecerá de rigidez, en cuyo caso un pequeño aumento de la carga dará lugar a una deformación considerable (Bisso, 1982; Pérez, 1983; Gascón, 1997).

El trabajo físicamente se puede definir como la fuerza necesaria para desplazar un cuerpo una distancia determinada (Alonso y Finn, 1976); para el caso del trabajo en madera este implica una forma de energía, ya sea como una aplicación directa o como reacción a un vector fuerza, si aplicamos una fuerza a la madera, inmediatamente se está aplicando una forma de energía; la madera reacciona absorbiendo dicha energía, de tal forma que contrarresta la acción, esta energía puede ser absorbida como deformación, como calor, como combinación de ambas o, por último como ruptura o falla del material,

por lo tanto la energía de un objeto es una medida para realizar trabajo (Sloane, 1966; Gascón, 1997).

Cuando una pieza de madera está sometida a flexiones bruscas y repentinas, de modo que la energía de la carga puede ser absorbida, la cantidad de trabajo desarrollado adquiere gran importancia para impedir serias fracturas. Si se sobrepasa el límite proporcional en una pieza de madera sometida a una carga permanente, con el tiempo se romperá o fallará. Por esto el conocimiento de las propiedades de la madera, más allá del límite proporcional, es fundamental para su correcto uso y desarrollo en el campo estructural (Torricelli, 1941).

Debido a lo anterior el presente estudio se preocupa de entregar información que pueda contribuir a las distintas aplicaciones estructurales y de resistencia de la madera, y en particular determinar los parámetros de energía en flexión estática y los parámetros comparativos del trabajo para madera de Pinus radiata D. Don de 18 años de edad.

Finalmente se realizará una comparación de las propiedades del trabajo en flexión y de los parámetros comparativos obtenidos, con los de un rodal de 52 años de edad.

II. MATERIAL Y METODO

2.1. Antecedentes Generales.

La información del presente estudio fue recolectada desde el fundo "Los Alpes", propiedad del Sr. Julio Hermosilla Freire, ubicado a 20 Km al noroeste de la comuna de Santa Barbara, VIII región. De este predio, se seleccionó un rodal de Pinus radiata D. Don de 18 años de edad, con una extensión de 10 hectáreas, manejado intensivamente, sin la presencia de sotobosque y con una densidad inicial de plantación de 400 árb / ha; en la actualidad posee una densidad promedio de 236 árb / ha y una área basal de 31,03 m² / ha.

La temperatura media anual en el área de estudio es de 13,8 °C, con una media máxima de 29 °C, siendo la media en enero de 20,6 °C y en julio de 8,3 °C. La precipitación media anual es de 1285 mm con cuatro meses secos (Almeyda y Saéz, 1958).

El rodal crece y se desarrolla en suelos derivados de cenizas volcánicas, con topografía de lomajes suaves y con pendientes uniformes del 12 %. Presenta suelos medianamente profundos y de buen drenaje. La serie de suelo a la que corresponde es Santa Bárbara.

A continuación se presentan algunas características relevantes del rodal:

TABLA 1. NUMEROS DE PODAS REALIZADAS AL RODAL A SU ALTURA Y EDAD RESPECTIVA.

N° PODA	ALTURA (m)	EDAD (años)
1	0 - 3	5
2	3 - 6	7
3	9 - 12	11

TABLA 2. NUMEROS DE RALEOS REALIZADOS EN EL RODAL A SU EDAD RESPECTIVA.

N° de RALEO	EDAD (años)
1	9
2	12
3	18

Basado en el premuestreo del rodal se determinaron las siguientes características:

Altura media = 30.8 m

Diámetro medio = 40.5 cm

Altura dominante = 31.6 m

Diámetro cuadrático medio = 40.9 cm

2.2. Especie estudiada.

La especie Pinus radiata D. Don perteneciente al género Pinus, es la de mayor importancia en Chile; también es denominado pino insignis o insigne y proviene de tres especies pináceas, las cuales son: attenuata, muricata y radiata .

En las provincias de Concepción, Arauco, Ñuble, Maule y Malleco, se plantó profusamente y, en la actualidad se informa la existencia de alrededor de 1.5 millones de hectáreas plantadas (Chile Forestal. Septiembre, 1996).

Su éxito se debe a su rápido crecimiento en este clima, ya que crece 28 m³ /ha / año. También, es poco exigente en cuanto a calidad del suelo, se planta hasta los 1000 m.s.n.m., requiere sobre los 800 mm de agua por año.

A los 25 años está en condiciones de producir madera, no sólo para rollizos y aserrío sino también para pulpa.

Se caracteriza por ser un árbol relativamente sano, pero tiene algunas desventajas como son: la gran presencia de ramas, lo que hace que el hombre tenga que intervenir continuamente, realizando podas y raleos, es decir, manejarlo intensivamente; también presenta gran cantidad de verticilos y pseudoverticilos, y gran número de estróbilos adheridos al fuste (Clark y Vergara, 1994).

En vivero máximo se plantan 150 a 200 plantas por metro cuadrado lo que producirá plantas con tallos más lignificados y gruesos; con estos atributos logrará una mayor sobrevivencia y crecimiento inicial al momento de su establecimiento en terreno.

El crecimiento en altura de esta especie es de aproximadamente 0.8 a 1 m / año (Clark y Vergara, 1994).

El crecimiento en altura está dado por la calidad del sitio que, como se sabe, es el resultado de la acción de las más importantes variables que, actuando en conjunto, afectan a una especie en particular o a un grupo de ellas (Rodríguez, 1987 citado por Clark y Vergara, 1994).

El área plantada con esta especie ha crecido en forma extraordinaria en los últimos 21 años; en 1970, existían 151.887 has., y en 1992 totalizaban 701.297 ha., superficie que representa casi el 50% del total existente en el país.

Por último, se hace evidente la importancia que, para la economía del país, tiene esta especie lo que ha motivado a numerosos organismos del país, vinculados con los aspectos económicos, forestales y científicos, a establecer programas tendientes a un mayor conocimiento,

con miras a lograr técnicas de mejoramiento y obtener una mayor racionalización en el uso de esta madera.

2.3. Materiales.

La información utilizada proviene de tres árboles, los cuales fueron fraccionados en 12 trozos con una longitud de 1 metro cada uno, siendo estos extraídos de los primeros 8 metros de altura del árbol (fuste podado), dichos árboles fueron fraccionados y denominados 1,2,3 y 4 respectivamente como se indica en la figura 1.

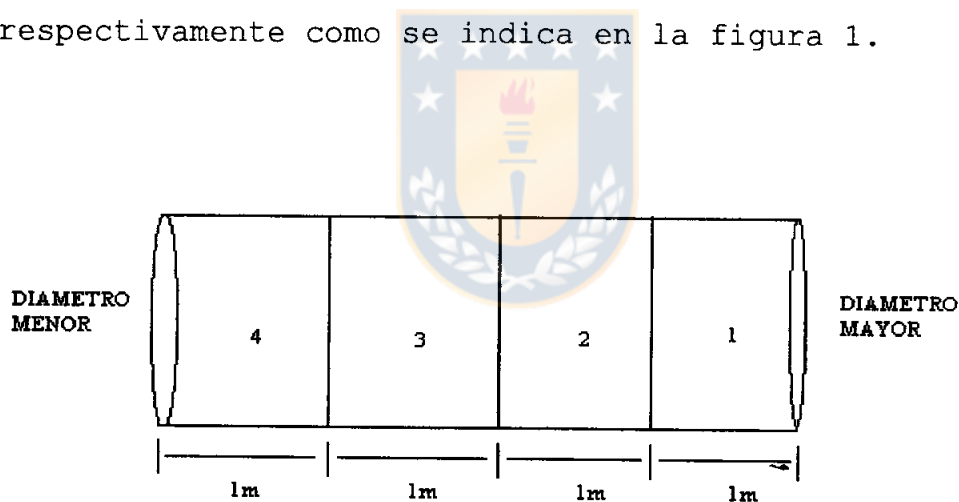


Figura 1. Definición del árbol fraccionado.

Los diámetros de los árboles eran de 30, 37 y 45 cm en promedio; estos valores corresponden al 33% del total de árboles de menor, intermedio y mayor diámetro del rodal, respectivamente.

Se obtuvieron 300 probetas, asignándose, para el ensayo en flexión estática, 30 en estado verde y 30 en estado seco.

En la presente Memoria se utiliza 60 gráficos Carga / Deflexión generados de las 60 probetas ensayadas en flexión. (Los datos de las cargas y deflexiones fueron facilitados por Palacios y Quiroga, 1997; alumnas de la Universidad del Bio-Bio).

Para medir las áreas plásticas bajo las curvas de los gráficos Carga / Deflexión, se utilizó como instrumento un planímetro polar Zero Setting perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción.

2.4. Descripción del ensayo en Flexión estática.

La metodología se basa en las prescripciones establecidas según la norma Chilena N° 987.c72; que, a su vez, está basada en la norma Estadounidense ASTM (Gutiérrez, 1994).

El ensayo de Flexión estática fue realizado en una máquina de tipo universal marca INSTRON, con una capacidad máxima de 5000 Kg.

Las probetas para este tipo de ensayo, mantienen la relación 1 / 14 entre el espesor y su largo ($l/h = 14$)

Estas no presentan defectos y sus dimensiones aproximadas son de 25*25*410 mm y fueron ensayadas en su cara tangencial.

La distancia entre los cojinetes o soportes de la máquina es de 35 cm, y recibe el nombre de "luz".

La carga se ejerce a una velocidad de 2 mm / min., no variando más allá del 25 % (Gutiérrez, 1994).

El funcionamiento de la máquina permite que cada cierto intervalo de carga (10Kg.) entregue lecturas, generadas por un deflectómetro, que es un instrumento de precisión que lee las variaciones producidas en la probeta por acción de la sollicitación o carga. Estas lecturas son traspasadas a un gráfico, donde es trazada una curva representativa del ensayo.

Cada probeta arroja un resultado gráfico, el cual corresponde a la figura de la carga v/s deflexión (Anexo 9.).

2.5. Metodología de Trabajo.

Esta consistirá en proceder a medir las áreas bajo las curvas de los 60 gráficos carga / deflexión; el área plástica se medirá con un planímetro mecánico; luego que se ha fijado el factor de corrección del instrumento y el factor "Q".

Se medirá el área plástica de cada gráfico tres veces y se obtendrá un promedio.

El valor de la lectura promedio del planímetro se multiplica por el factor de corrección y por el factor Q para el caso de la zona plástica y con ello se obtiene el área en Kgf-cm.

Las áreas elásticas y plásticas al dividir las por el volumen de la probeta nos arroja los resultados de trabajo elástico; trabajo plástico y trabajo hasta la máxima carga en flexión de la especie Pinus radiata D. Don (referirse al capítulo anexos).

Luego se procederá a tabular los datos, y se registrarán los valores de los parámetros comparativos del trabajo en flexión: Coeficiente de Tetmajer (η), Módulo plástico de Janka (Z) y el Trabajo específico de Janka (α).

Tanto para los trabajos en flexión, como para los parámetros comparativos, se obtienen medias, desviaciones estándares y coeficientes de variación, para la especie en cuestión y cada estado de contenido de humedad (verde (> 40 % C.H.) y seco (12% C.H.)).

Los resultados que se obtengan se compararán con los parámetros y propiedades de energía en flexión perteneciente a un rodal de la misma especie, con una edad de 52 años, sin manejo, ubicado a ocho kilómetros de Concepción, camino a Santa Juana, con una densidad actual de 564 árboles por hectárea, un área basal de 90.89 m²/ha y un diámetro medio cuadrático de 45,29 cm, este rodal posee una extensión de 4 ha y pertenece al fundo Pinares de Forestal Mininco S.A..



III. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Resumen de Resultados.

En la tabla 3 se presentan los valores promedios (Media) determinados en el estudio, para estado verde de las probetas ensayadas. Se incluye, además, valores de desviación estándar (DS) y su correspondiente coeficiente de variación (CV).

TABLA 3. VALORES PROMEDIOS EN ESTADO VERDE (> 40% C.H.) PARA LOS TRABAJOS EN FLEXION, LOS PARAMETROS COMPARATIVOS DEL TRABAJO Y OTRAS PROPIEDADES MECANICAS Y FISICAS DE LA ESPECIE Pinus radiata.

PROPIEDAD	ESTADÍSTICO	UNIDAD	PINUS RADIATA (18 AÑOS)	PINUS RADIATA (52 AÑOS)
n	N° probetas	Unidad	30	30
AAC	Media	mm	11.74	5,12
DB	Media	g /cm3	0.39	0.48
MOE	Media	Kgf /cm2	59.650,95	100.461,70
σ	Media	Kgf /cm2	253,71	395,2
MOR	Media	Kgf /cm2	411,7	504,3
θ	Media	grados	2,92	2,58
We	Media	Kgf-cm/cm3	0,06206	0,088
	DS	Kgf-cm/cm3	0,01857	0,0018
	CV	%	29,92	20.7
Wp	Media	Kgf-cm/cm3	0,274297	0,753
	DS	Kgf-cm/cm3	0,12808	0,264
	CV	%	46,69	35.11
Wt	Media	Kgf-cm/cm3	0,33636	0,840
	DS	Kgf-cm/cm3	0,13176	0,264
	CV	%	39,17	31,4
Z	Media	cm /Kgf	0,013861	0,041
	DS	cm /Kgf	0,005384	0.032
	CV	%	38,84	77.10
α	Media	Kgf	129,252	133,726
	DS	Kgf	26,101	17.075
	CV	%	20,19	12.8
η	Media	Adimensional	1,0666	0,827
	DS	Adimensional	0,0955	0,052
	CV	%	8,96	6,3

En la Tabla 4 se presentan los valores promedios (Media) determinados en el estudio, para estado seco de las probetas ensayadas. Se incluye, además, valores de desviación estándar (DS) y su correspondiente coeficiente de variación (CV).

TABLA 4. VALORES PROMEDIOS EN ESTADO SECO (12% C.H.) PARA LOS TRABAJOS EN FLEXION, LOS PARAMETROS COMPARATIVOS DEL TRABAJO Y OTRAS PROPIEDADES MECANICAS Y FISICAS DE LA ESPECIE Pinus radiata.

PROPIEDAD	ESTADÍSTICO	UNIDAD	PINUS RADIATA (18 AÑOS)	PINUS RADIATA (52 AÑOS)
n	N° probetas	Unidad	30	30
AAC	Media	mm	10,08	4.30
DB	Media	g /cm ³	0,41	0.54
MOE	Media	Kgf /cm ²	73.350,46	119.555,7
σ	Media	Kgf /cm ²	493,02	669,3
MOR	Media	Kgf /cm ²	734,00	1014,3
θ	Media	grados	2,04	2,80
We	Media	Kgf-cm/cm ³	0,18505	0.229
	DS	Kgf-cm/cm ³	0,06135	0.133
	CV	%	33,16	58
Wp	Media	Kgf-cm/cm ³	0,42113	0.871
	DS	Kgf-cm/cm ³	0,17001	0,286
	CV	%	40,37	32,9
Wt	Media	Kgf-cm/cm ³	0,60618	1,100
	DS	Kgf-cm/cm ³	0,17334	0,309
	CV	%	28,60	28.1
Z	Media	Cm /Kgf	0,00791	0,009
	DS	Cm /Kgf	0,00203	0,005
	CV	%	25,63	56,1
α	Media	Kgf	121,49	188,511
	DS	Kgf	38,79	33,258
	CV	%	31,93	17.6
η	Media	Adimensional	0,5811	0,664
	DS	Adimensional	0,1052	0,044
	CV	%	18,11	6.6

Abreviaturas para tablas 3 y 4:

n : Tamaño de la muestra

σ : Esfuerzo en el límite proporcional

MOR: Módulo de ruptura

θ : Grano en espiral

CV : Coeficiente de variación

DS : Desviación estándar

ACC : Ancho anillo de crecimiento

DB : Densidad básica

MOE : Módulo de elasticidad

We : Trabajo elástico

Wp : Trabajo plástico

Wt: Trabajo total

Z : Módulo plástico de Janka

η : Coeficiente de Tetmajer

α : Trabajo específico de Janka

En estado verde (Tabla 3) se aprecia que el MOE para la especie Pinus radiata D.Don de 52 años de edad es 68,42 % superior al Pinus radiata D.Don de 18 años de edad, esto nos indica que el pino de más edad es más rígido que el pino joven por lo cual retiene sus formas naturales y tamaño por más tiempo si fuera solicitado por fuerzas externas.

Esto se debe a que el pino adulto posee una mayor densidad básica y menores anchos de los anillos de crecimiento; Benson (1950) citado por González et.al.(1988) señala que a medida que aumenta la densidad de la madera el MOE es mayor.

Cown (1972) señala que la poda en pino insigne tiende a incrementar la densidad de la madera en aproximadamente un 7% durante 2 a 3 años después del tratamiento, este efecto es de pequeña significancia en la madera.

Hawley y Smith (1972), y Daniel et.al.(1982) afirman que el raleo reduce la densidad, y como resultado de esto, se produce una reducción de la resistencia a la flexión y a la dureza.

El efecto del raleo sobre la densidad es muy variado, si el tratamiento afecta la proporción relativa de madera temprana, en el anillo elevándola, la densidad disminuye, si se eleva el porcentaje de madera tardía, la densidad aumenta (Megraw y Nearn, 1972) citados por Daniel et.al.(1982).

El esfuerzo en el límite proporcional en estado verde para el pino adulto es 55,77 % superior al pino joven por lo cual resiste esfuerzos mayores sin que se produzcan deformaciones permanentes, esto se debe a que el esfuerzo depende directamente de la carga aplicada hasta el límite elástico, y si esta carga es mayor el esfuerzo proporcionalmente aumentará.

El valor más alto de resistencia en estado verde, expresado como esfuerzo (MOR) corresponde al pino adulto el cual es 22,49 % superior al pino joven.

Según Kibblewithe (1973) citado por González et.al.(1988) señala que la madera de mayor densidad posee un MOR mayor.

En la tabla 4, se aprecia que el MOE para el pino adulto es 62,99 % superior al pino joven, demostrando que a mayor edad la madera aumenta la propiedad de rigidez, esto se explica ya que el MOE es directamente proporcional a la carga aplicada hasta el límite elástico, y a medida que esta aumenta el MOE es mayor.

El esfuerzo en el límite proporcional en estado seco para el pino adulto es 35,76 % superior al pino joven, lo que nos indica que el pino adulto se puede someter a cargas mayores sin que se produzcan alteraciones de sus dimensiones; esto se justifica ya que el esfuerzo depende

directamente de la carga aplicada y si esta aumenta el esfuerzo también será mayor.

El MOR en estado seco para el pino adulto es 38,19 % superior al pino joven, por lo tanto, el pino joven se fractura o falla antes que el pino adulto.

Con respecto a los valores del grano en espiral, estos son bajos (menores a $2,92^\circ$); Banks (1969) citado por Daniel et.al.(1982) señala que la madera de coníferas con un ángulo del grano de alrededor de 7° , sufre una pérdida de resistencia de alrededor de 6%, esto nos indica que la madera de 18 años posee una pérdida de resistencia poco significativa.

La diferencia de densidad entre las coníferas esta determinada en gran parte por la proporción de madera de primavera y madera de verano, puesto que el desarrollo de la copa tiene el control sobre el inicio, la duración y la suspensión de la actividad del tejido de cambio, parece que las decisiones silvícolas más importantes que afectan las características de los anillos de crecimiento serían el espaciamiento inicial, el raleo, la fertilización y la poda, estos tratamientos influyen de manera directa sobre el espesor del anillo (Daniel et.al.,1982), los resultados nos indican que la madera

manejada intensivamente es la que presenta los mayores anchos de los anillos de crecimiento con un valor promedio de 10,9 mm.

3.2. Discusión de cada variable en estudio.

3.2.1. Trabajo elástico (We). En la figura 2 se presentan los valores de Trabajo elástico para la especie Pinus radiata D.Don de 18 y 52 años de edad.

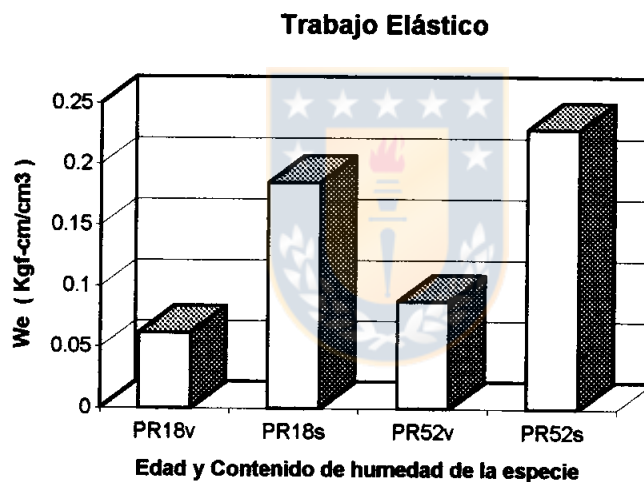


Figura 2. Valores promedio del trabajo elástico en estados seco y verde para la especie estudiada.

Analizando el gráfico se puede apreciar que existen notables diferencias entre los dos estados de contenido de humedad. Estas diferencias se presentan en variaciones porcentuales (se utiliza como base el valor menor) en el Pinus radiata D.Don de 18 años de edad es de 198,18 % y

en el Pinus radiata D. Don de 52 años de edad es de 160,23%.

Como una medida de la energía absorbida por una viga cuando es forzada hasta el límite elástico (Valenzuela y Nakayama, 1991), el trabajo elástico manifestó sus mayores valores al 12% de contenido de humedad para ambas edades comparadas.

Para la especie se aprecia que la cantidad de energía que queda almacenada como energía de deformación es mayor en el estado seco que en el verde.

Estos valores demuestran claramente la importancia del proceso de secado de la madera, desde el punto de vista estructural, ya que si las piezas son sometidas a esfuerzos mayores al límite proporcional (elástico) estos variarán en sus dimensiones y por lo tanto se deformarán (Gascón, 1997).

A medida que decrece el contenido de humedad en la madera el trabajo elástico aumenta encontrando su máximo en estado seco.

3.2.2. Trabajo plástico (W_p). En la figura 3 se representan los valores de trabajo plástico para la especie Pinus radiata D.Don de 18 y 52 años de edad, en sus dos estados de contenido de humedad.

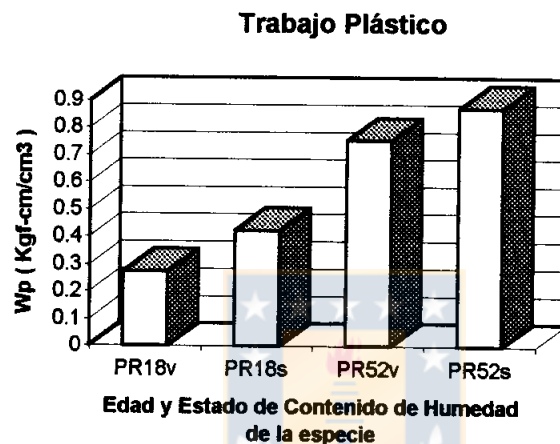


Figura 3. Valores promedio del trabajo plástico en estado seco y verde para la especie estudiada.

Se puede apreciar que las diferencias de los estados verde y seco, no son de las mismas magnitudes que el caso anterior (Trabajo elástico).

La mayor variación porcentual la presenta el pino joven, con un 53,53 % mientras que el pino adulto presenta una variación del 15,67 %.

El trabajo plástico es definido como la deformación plástica de una viga bajo esfuerzos en flexión sobre el límite elástico hasta que se produce la falla (Valenzuela y Nakayama, 1991), este manifestó un leve aumento al 12% C.H. para ambas edades comparadas.

La energía que se ha disipado en forma de calor y como parte en la recuperación de la deformación es levemente superior en estado seco (12% C.H.).

3.2.3. Trabajo hasta la carga máxima (Total) (Wt)

En la figura 4 se presentan los valores del trabajo total para la especie Pinus radiata D. Don de 18 y 52 años de edad, en sus dos estados de contenido de humedad.

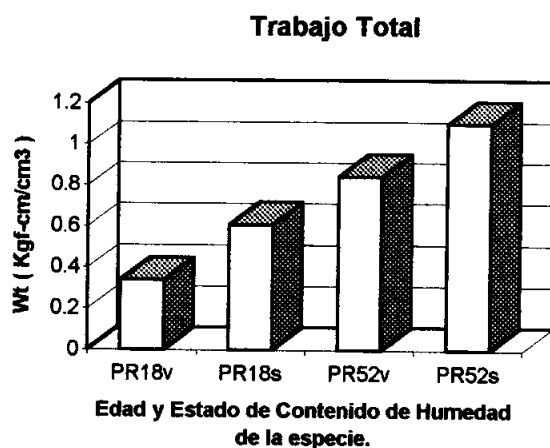


Figura 4. Valores promedios del trabajo total en estado seco y verde para la especie estudiada.

La figura nos muestra el trabajo hasta la carga máxima como una medida de la resistencia y la tenacidad de la madera bajo fuerzas de flexión (Valenzuela y Nakayama, 1991), el que presenta mayores diferencias porcentuales es el pino joven con un 80% y en una magnitud menor el pino adulto con 31%, ambos mayores en estado seco.

3.2.4. Coeficiente de Tetmajer (η). En la figura 5 se presentan los valores del coeficiente de Tetmajer para la especie Pinus radiata D. Don de 18 y 52 años de edad, en sus dos estados de contenido de humedad.

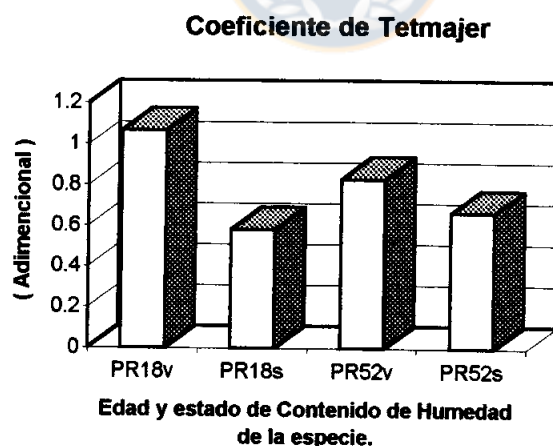


Figura 5. Valores medios del coeficiente de tetmajer en estado seco y verde, para la especie en estudio.

Este coeficiente es un detector sensitivo de los defectos de la madera en flexión según Kollmann y Cote (1968) citados por Aguayo y Alarcón (1995), y Valenzuela y Nakayama (1991), estos valores son alrededor de 0,7 para madera estructural libre de defectos.

El mayor valor lo presenta el pino joven con 1,066 (adimensional) en estado verde, siendo un 83,55% superior al estado seco.

Para el pino adulto el mayor valor se presenta en estado verde y corresponde a 0,827 siendo 24,55% superior al estado seco.

El valor del pino adulto en estado seco es de 0,664 por lo cual corresponde a la madera más apropiada para estructuras, siendo solo un 14,27% superior que la madera del pino joven en estado seco.

3.2.5. Módulo Plástico de Janka (Z). En la figura 6 se presentan los valores del módulo plástico de Janka para la especie Pinus radiata D. Don de 18 y 52 años de edad, en sus dos estados de contenido de humedad.

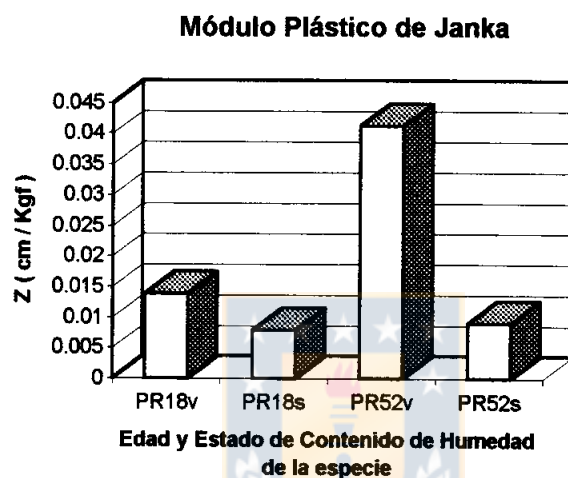


Figura 6. Valores medios del Módulo Plástico de Janka en estado seco y verde, para la especie en estudio.

La madera de Pinus radiata D. Don de 52 años en estado verde presenta el valor más alto de plasticidad (0,041 cm/Kgf) y su diferencia porcentual con el estado seco es de 355,56 %.

Para el caso de la madera de 18 años de edad en estado verde no es tan notoria la diferencia porcentual siendo solo de 75,23%.

Estas diferencias nos indican que la madera en estado verde es más plástica que la madera al 12% C.H.; estudios realizados por Valenzuela y Nakayama (1991) confirman lo antes mencionado, puesto que al ensayar en flexión madera de pino insigne al 12% C.H., establecieron que la madera juvenil era un 27% más plástica que la madera madura.

La plasticidad mayor de la madera en estado verde puede ser explicada por el hecho que las deformaciones plásticas ($Y_m - Y_p$) en estado seco y verde son aproximadamente las mismas, sin embargo, las fuerzas ($P_m - P_p$) causantes de las deformaciones plásticas fueron diferentes, las fuerzas en estado verde son más pequeñas que en estado seco.

3.2.6. Trabajo Específico de Janka (α). En la figura 7 se presentan los valores del trabajo específico de Janka para la especie Pinus radiata D. Don de 18 y 52 años de edad, en sus dos estados de contenido de humedad.

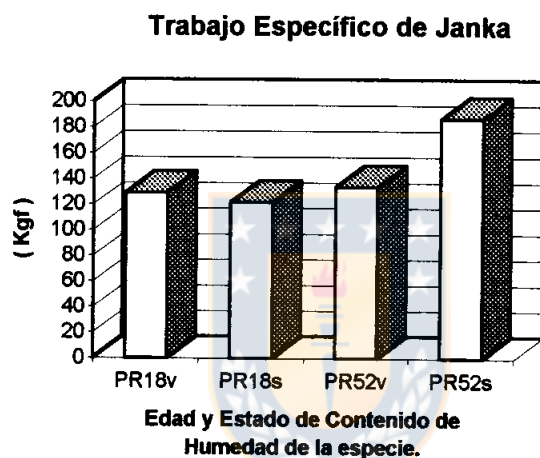


Figura 7. Valores medios del Trabajo Específico de Janka en estados verde y seco, para la especie en estudio.

Este trabajo específico corresponde a un indicador de la tenacidad en la madera, puesto que representa el trabajo realizado ante la aplicación de una carga hasta la ruptura, también puede ser utilizado como un indicador de la flexibilidad de la madera (Valenzuela y Nakayama, 1991).

La figura nos indica que la madera de 18 años de edad en estado verde es 6% más flexible.

Para la madera de 18 años de edad el máximo valor se presenta en estado verde siendo de 129,25 Kgf, en este estado el valor porcentual es 6,39% superior al estado seco, sin embargo, para la madera del pino adulto el máximo valor se presenta en estado seco siendo de 188,51 Kgf, en este estado el valor porcentual es de 40,97% superior al estado verde.

3.3. Comparaciones porcentuales. En la figura 8 se presentan los valores del trabajo elástico, plástico y total para la especie Pinus radiata D.Don de 18 y 52 años en estado seco.

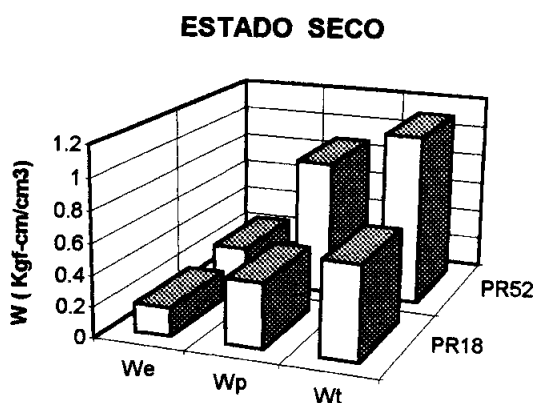


Figura 8. Comparación de los valores promedios del Trabajo elástico, plástico y total para la especie en estudio en estado seco.

El pino adulto supera en todos los valores en estado seco al pino joven. En el trabajo elástico lo supera en un 23,75%, en el trabajo plástico en un 106,82% y para el trabajo total en un 81,46 %.

En la figura 8 se observa que, la energía ocupada por la madera en la zona plástica es notoriamente mayor a la de la zona elástica para ambas edades.

Esto nos refleja que al aplicar cargas a las probetas durante el ensayo, gran parte de la energía absorbida se pierde a la forma de calor, por lo que entre el 20 a 40 % de la energía se utiliza en la deformación.

En la figura 9 se presentan los valores del trabajo elástico, plástico y total para la especie Pinus radiata D. Don de 18 y 52 años en estado verde.

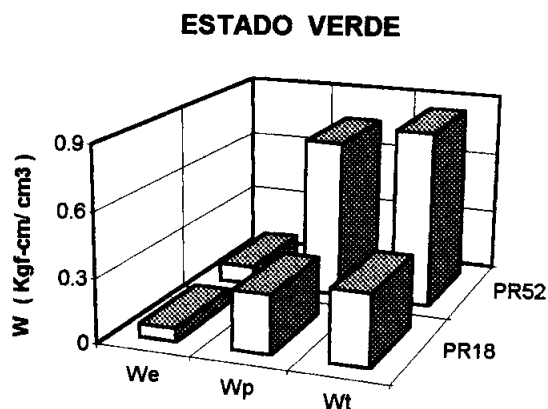


Figura 9. Comparación de los valores promedios para el trabajo elástico, plástico y total para la especie en estudio en estado verde.

El pino adulto supera en todos los valores en estado verde al pino joven. En el trabajo elástico lo supera en un 41,8%, en el trabajo plástico en un 174,52% y para el trabajo total en un 149,73%.

En la figura 9 se aprecia que la energía ocupada por las probetas de madera en la zona plástica es notoriamente mayor a la zona elástica en ambas edades, esto tiene directa relación con la poca capacidad que posee la madera en estado verde para soportar cargas sin deformarse o alterar sus dimensiones permanentemente, al sobrepasar el límite proporcional o elástico.

3.4. Agrupamiento de la especie Pinus radiata D. Don según su resistencia.

TABLA 5. AGRUPACION DEL PINO JOVEN Y PINO ADULTO SEGÚN LA NORMA CHILENA 1989.

		Rf	Ef	Rc	Grupo	Rf	Ef	Rc	Grupo
		Mpa	Mpa	Mpa		Mpa	Mpa	Mpa	
<u>Pinus radiata</u>	VALOR	40.4	5849.7	16.7	E 6	72	7193.2	39	ES 5
(18 años)	GRUPO	E 6	E 6	E 6		ES 5	ES 6	ES 5	
<u>Pinus radiata</u>	VALOR	49.5	9852	21,6	E 5	99.5	11724.3	51.8	ES 3
(52 años)	GRUPO	E 5	E 4	E 5		ES 3	ES 4	ES 3	

Rf: Módulo de ruptura

Ef: Módulo de elasticidad

Rc: Tensión máxima en compresión paralela

El resultado de la tabla n°5 demuestra que el pino adulto (52 años) queda en el grupo inmediatamente superior en resistencia que el pino joven (18 años) en estado verde, para el caso del estado seco queda en el grupo ES3 que es dos veces superior en resistencia.

Como comparación encontrada en la literatura (Nch 1989) el pino joven en estado verde pertenece al mismo grupo del álamo; para el caso del estado seco pertenecería al mismo grupo del Alerce, Pino oregón, Raulí y Tapa entre otros.

En el caso del pino adulto para el estado verde pertenece al grupo del Alerce, Canelo, Ciprés de la Cordillera, Lengua, Pino oregón y Tapa; para el caso del estado seco pertenece al mismo grupo del Lingue y está inmediatamente inferior al de Eucalyptus globulus.

3.5. Correspondencia de la especie Pinus radiata D.Don a su Clase estructural .

En la siguiente tabla se pretende establecer la respectiva clase estructural a la que pertenece la especie en estudio con su edad correspondiente. Esto está basado en las tensiones admisibles y al módulo de elasticidad (MOE).

Tensión admisible se puede definir como la carga por unidad de superficie que puede soportar elásticamente un elemento de madera.

Según la tabla 6 se aprecia que la madera del Pino adulto (52 años) en estado seco posee la clase estructural mayor y la madera del pino joven (18 años) en estado verde posee la clase estructural menor. Por lo que se recomienda utilizar la madera de 52 años en estado seco como la mejor para las estructuras de la vivienda, no despreciando eso sí a la madera seca de 18 años.

TABLA 6. TENSIONES ADMISIBLES Y MOE CON LA ASIGNACION DE LA ESPECIE A SU CLASE ESTRUCTURAL.

Clase estructural	Tensión admisible en flexión (Mpa)	MOE en flexión (Mpa)	Especie Estado seco	Especie Estado verde
F34	34.5	18150		
F27	27.5	15000		
F22	22.0	12600	Pino adulto	
F17	17.0	10000		Pino adulto
F14	14.0	9100		
F11	11.0	7900	Pino joven	
F8	8.6	6900		
F7	6.9	6100		Pino joven
F5	5.5	5500		
F4	4.3	5000		
F3	3.4	4600		
F2	2.8	4350		

1 Mpa = 10,1972 Kgf /cm²

IV. CONCLUSIONES

Basándose en los resultados obtenidos se establecen las siguientes conclusiones para el ensayo en flexión estática para madera de Pinus radiata D. Don de 18 años de edad.

1. La especie en estudio presenta los mayores valores del trabajo elástico, trabajo plástico y trabajo hasta la máxima carga (total) en flexión, en estado seco (12% C.H.).
2. Los parámetros comparativos de energía en flexión, Coeficiente de Tetmajer, Módulo plástico de Janka y Trabajo específico de Janka presentan sus mayores valores en estado verde (> 40% C.H.).
3. Se aprecia que la madera de 18 años de edad posee los menores valores, en estado seco y verde para los trabajos elástico, plástico y hasta la máxima carga, en comparación con la madera de 52 años de edad.
4. Se observa que la energía utilizada por la madera en la zona plástica es notoriamente mayor a la de la zona elástica para ambas edades de la madera.
5. El módulo de elasticidad (MOE) correspondiente al pino joven es inferior al pino adulto (63% en seco y 68% en verde).

V. RESUMEN

En el presente estudio se determinaron las propiedades de trabajo de la especie Pinus radiata D. Don proveniente de un rodal manejado intensivamente (poda y raleo) (trabajo elástico, trabajo plástico y trabajo total) y los parámetros comparativos del trabajo (coeficiente de Tetmajer, módulo plástico de Janka y trabajo específico de Janka) en flexión estática, para las condiciones verde (sobre 40 % de contenido de humedad) y seco (12% de contenido de humedad) de la madera.

Los resultados obtenidos mostraron que las propiedades del trabajo en condición seca fueron mayores que los en condición verde, con un promedio de 110% aproximadamente; en cambio, los parámetros comparativos del trabajo en condición verde fueron mayores que los en condición seca, con un promedio de 55% aproximadamente.

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con otro similar realizado en un rodal de 52 años de edad, tanto en estado seco como en verde , se obtuvo que las propiedades del trabajo del rodal de 52 años fue mayor que las del rodal de 18 años de edad, con un promedio de 122% aproximadamente.

Sin embargo, los parámetros comparativos del trabajo no mostraron la tendencia anteriormente señalada; donde algunos parámetros tuvieron valores similares ó mayores y menores, dependiendo de la edad del rodal y del estado de humedad de la madera.

V. SUMMARY

At the present study, were determined the work properties (elastic work, plastic work and total work) and the comparative parameters of work (Tetmajer coefficient, Janka's plastic module and specific work) in bending, for both green (over 40% of humidity) and dry (12% of humidity) conditions of wood; of the specie Pinus radiata coming from a managed forest (pruning and thinning).

The results obtained showed that work properties in dry conditions were higher than in green conditions, with an average of 110% approximately; on the other hand, the comparative parameters of work in green conditions were higher than in dry conditions, with an average of approximately 55%.

When comparing the results obtained in this study with a similar one done in a 52 year old forest, in dry and green conditions, it was obtained that the work properties of the 52 year old forest was higher than the 18 year old forest, with an average of 122% approximately. Although, the comparative parameters of work did not show the latter tendency; where some parameters had similar values or, higher and lower depending on the age of the forest and the humidity state of wood.



VI. BIBLIOGRAFÍA

1. AGUAYO, G. y A.ALARCÓN, 1995. Efecto del Contenido de humedad sobre la Propiedad Mecánica de Flexión del Pinus radiata D.Don . Tesis de Grado. Universidad del Bio-Bio. Facultad de Ingeniería Depto. de Ingeniería en Maderas. Concepción. Chile.
2. ALONSO, M y E. FINN, 1976. Física. Volumen I. Fondo Educativo Interamericano. S.A. México. Paginas 64-77.
3. ALMEYDA y SAÉZ, 1958. Recopilación de datos Climáticos de Chile y Mapas Sinópticos respectivos. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Producción Agraria y Pesquera. Santiago. Chile.
4. BENAVENTE,G., 1993. Propiedades Mecánicas en Flexión de tres especies exóticas crecidas en la Reserva Forestal de Malleco. Tesis de Grado. Universidad del Bio-Bio. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería en Maderas. Concepción. Chile.

5. BISSO, G., 1982. Propiedades Mecánicas y Físicas asociadas de 8 especies del genero Eucalyptus. Tesis de Grado. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. Chile.
6. COWN, D.J., 1972. Effects of severe thinning and pruning treatments on the intrinsic wood properties of young radiata pine. New Zealand Journal of Forestry Science 3: 379 - 389.
7. COWN, D.J., 1972. Comparison of the effects of two thinning regimes on some wood properties of radiata pine. New Zealand Journal of Forestry Science 4(3): 540 -551.
8. CLARK, J. y C. VERGARA, 1994. Determinación de algunas Propiedades Mecánicas de un Rodal de Pinus radiata D. Don de 52 años de edad. Tesis de Grado. Universidad del Bio-Bio. Facultad de Ingeniería. Concepción. Chile.
9. DANIEL, T., J.A. HELMS and F.S. BACKER. 1982. Principios de Silvicultura. McGraw-Hill. Mexico. Pag. 407-426.
10. DIAZ-VAZ, J. y H. CUEVAS, 1982. Ensayos Mecánicos de la Madera. Publicación docente n°8. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. Chile.

11. FIELDING, J., 1968. Influence of silvicultural practices on wood properties. *Internacional Review of Forestry Research*.
12. GASCÓN, A. 1997. Determinación del Trabajo en Flexión para siete especies exóticas de Chile. Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Manejo de Bosques y Medio ambiente. Concepción. Chile.
13. GONZALEZ, D., J. GARCIA y R. MELO. 1988. Efecto del raleo en la densidad aparente de la madera de *Pinus radiata*. *Agrociencia* VOL 4. N°1 pp:147-152.
14. GUTIERREZ, G., 1994. Determinación de las Propiedades Mecánicas de tres especies exóticas, creciendo en la Reserva Forestal de Malleco. Sector Los Guindos. Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Manejo de Bosques y Medioambiente Concepción. Chile.
15. HAWLEY, R. And D. SMITH. 1972. *Silvicultura Práctica* Ediciones Omega. S.A. Barcelona. España. Páginas 457-483.

16. INFOR, 1991. Manual de Construcciones en Madera n°10.
Volumen I. Segunda Edición. Santiago. Chile.
17. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, 1986. Nch 987.c72. Madera. Determinación de las Propiedades mecánicas. Ensayo de Flexión estática. Santiago. Chile.
18. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, 1989. Nch.1989. Maderas. Agrupamiento de Especies según su Resistencia - Procedimiento. Santiago. Chile.
19. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, 1990. Nch.1990. Madera. Tensiones Admisibles para madera Estructural. Santiago. Chile.
20. MELO,R.y J.PAZ, 1995. Tecnología de la Celulosa y el Papel. Física y Química de la Madera. Volumen I. Universidad de Concepción. Proyecto de Desarrollo de Docencia. Facultad de Ingeniería. Concepción. Chile. Pag.: 147-196.
21. PALACIOS, B. y B. QUIROGA, 1997. Determinación de algunas Propiedades mecánicas de un rodal de Pinus radiata D.Don de 18 años de edad manejado. Tesis de Grado. Universidad del Bio-Bio. Concepción. Chile. (en ejecución).

22. PANSHIN, A. and DE ZEEUW, C. 1970. Textbook of wood Technology. Third Ed. V.I. McGraw-Hill. Book Co. Paginas: 276-407.
23. PEREZ, V. 1989. Incidencia de la edad del árbol sobre las propiedades físicas y mecánicas del Pino radiata. Ciencia e Investigación Forestal. Junio. Infor. Santiago. Chile.
24. PEREZ, V., 1983. Manual de Propiedades Físicas y Mecánicas de las Maderas Chilenas. Investigación y Desarrollo Forestal. Documento de Trabajo n°47 Conaf. Chile.
25. PUENTES, G. 1996. Efecto de la fertilización y dos regímenes de Raleo sobre el incremento en área basal y algunas propiedades físicas y químicas de la madera de Pinus radiata D. Don . Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Silvicultura Concepción. Chile.
26. SLOANE, A., 1966. Resistencia de Materiales. Unión Tipográfica. Editorial Hispano América. México. Paginas: 75-125.
27. TORRICELLI, E., 1941. Propiedades Físicas y Mecánicas de las Maderas Chilenas. Ministerio de Tierras y Colonización. Santiago. Chile.

28. VALENZUELA, L.y Y. NAKAYAMA. 1991. The bending Work
of Radiata pine Grown in Chile. Mokuzai Gakkaishi
37 (5): 396-404.
29. VALENZUELA, L., 1996. Apuntes Asignatura Conversión
Mecánica. Universidad de Concepción. Facultad de
Ciencias Forestales. Concepción. Chile



VII. APENDICES.



Pinus radiata de 18 años de edad (Estado Verde)

N° unidades	Probetas			Total	Ym	Yp	Pm	Pp	Z	T.Esp Jan	Coef. adimtenoi	Q	b	h	Luz	Volume	We	Wp	Wt	MOE	AAC	Densida	Est	MOR	Avg Incl
	A1	A2*	A2																						
IIIF1	9.86	0.505	45.66	55.52	1.27	0.29	99.86	68	0.00878	97.404	0.9754	0.5	2.4	2.4	35	201.6	0.04891	0.11324	0.16215	75754.7	11.25	0.4	258.25	379.24	2.86
IIIF2	20.4	1.472	133.08	153.48	1.57	0.51	122.5	80	0.01788	120.85	0.9865	0.5	2.4	2.4	35	201.6	0.10119	0.33006	0.43125	50677.9	11	0.44	303.82	465.22	2.43
IIIF3	10.85	1.406	127.12	137.97	0.93	0.31	156.1	70	0.00720	148.355	0.9504	0.5	2.63	2.64	35	243.012	0.04465	0.26155	0.3062	50016.4	12	0.48	200.49	447.09	*
IIIF4	15.87	0.734	66.36	82.23	0.86	0.46	96.91	69	0.01433	95.616	0.9867	0.5	2.4	2.4	35	201.6	0.07872	0.16458	0.2433	48460.7	15	0.42	262.04	368.04	0.95
IIIF5	10.4	1.203	108.76	119.16	0.84	0.27	129.1	77	0.01094	141.857	1.0988	0.5	2.64	2.64	35	243.93	0.04263	0.22293	0.26556	62929.6	8.5	0.38	219.7	368.36	1.871
IIIF6	14.62	1.327	119.97	134.59	0.97	0.37	119.1	79	0.01496	138.753	1.165	0.5	2.6	2.5	35	227.5	0.00426	0.26367	0.32793	56334.7	12.75	0.42	255.23	384.78	1.02
IIIF7	13.65	0.947	85.62	99.27	0.77	0.35	127.1	78	0.00855	128.9221	1.0143	0.5	2.4	2.4	35	204.96	0.05123	0.19101	0.24224	54475.8	8.25	0.38	224.13	342.95	2.38
IIIF8	10.5	0.866	78.3	88.8	0.87	0.35	91.81	60	0.01634	102.069	1.1117	0.5	2.44	2.4	35	201.6	0.06717	0.12133	0.28006	71998.8	12	0.41	296.22	482.69	3.15
IIIF9	9.15	0.445	40.23	49.38	0.57	0.31	96.78	59	0.00688	86.632	0.8951	0.5	2.4	2.4	35	201.6	0.04539	0.08978	0.14517	61487.8	12.15	0.41	224.07	367.55	3.3
IIIF10	12.58	1.183	106.96	119.54	0.98	0.37	103.2	68	0.01733	121.98	1.182	0.5	2.4	2.4	35	201.6	0.0624	0.26528	0.32768	59375.3	12	0.41	258.25	391.93	4.28
IIIF11	13.6	1.314	118.8	132.4	0.92	0.34	121.6	80	0.01394	143.913	1.1835	0.5	2.4	2.4	35	201.6	0.0689	0.30091	0.36981	80973.0	13	0.43	316.89	481.67	5.49
IIIF12	18.69	1.63	147.37	166.06	1.11	0.42	134.1	89	0.01529	149.604	1.1156	0.5	2.53	2.5	35	221.375	0.08443	0.33285	0.41728	57457.1	15.1	0.41	295.49	445.23	4.75
IIIF13	17.33	1.343	121.42	138.75	0.86	0.35	147.4	99	0.01053	161.337	1.0946	0.5	2.66	2.64	35	245.784	0.07051	0.24701	0.31752	61946.6	12.5	0.37	280.35	417.41	4.75
IIIF14	23.1	1.147	103.7	126.8	0.88	0.44	149.1	105	0.00997	144.091	0.9664	0.5	2.66	2.65	35	246.715	0.09363	0.21016	0.30379	51672.7	14.75	0.39	295.1	413.83	3.99
IIIF15	18.24	0.722	65.28	83.52	0.67	0.38	139.6	96	0.00655	124.657	0.893	0.5	2.58	2.62	35	236.586	0.0771	0.13796	0.21506	58339.0	14	0.37	284.58	413.83	4.19
IIIF16	12.9	0.813	73.5	86.4	0.67	0.3	123.8	86	0.00978	128.955	1.0416	0.5	2.4	2.4	35	201.6	0.06324	0.18095	0.24419	71265.8	7.88	0.39	326.61	470.16	5.08
IIIF17	12.75	0.807	72.96	85.71	0.74	0.34	117.9	75	0.00932	115.824	0.9824	0.5	2.4	2.4	35	201.6	0.05134	0.16863	0.21997	74306.5	6	0.37	262.04	408.64	1.61
IIIF18	10.35	0.752	67.99	78.34	0.71	0.3	107.6	69	0.01062	110.338	1.0254	0.5	2.4	2.4	35	201.6	0.06324	0.18095	0.24419	71265.8	7.88	0.39	326.61	470.16	5.08
IIIF19	9.88	1.351	122.14	132.02	1.29	0.38	97.05	52	0.0202	102.341	1.0545	0.5	2.6	2.6	35	240.24	0.09649	0.43729	0.53378	52874.3	17	0.43	162.75	303.75	2.73
IIIF20	23.18	2.324	210.11	233.29	1.31	0.45	162.3	103	0.01450	178.084	1.0973	0.5	2.64	2.6	35	232.05	0.07274	0.513	0.62404	41438.0	12	0.35	162.75	303.75	2.73
IIIF21	16.88	2.83	255.86	272.74	1.76	0.45	134.9	75	0.02187	154.966	1.1487	0.5	2.6	2.6	35	232.05	0.07274	0.513	0.62404	41438.0	12	0.35	162.75	303.75	2.73
IIIF22	6.44	2.188	197.82	204.26	1.32	0.23	133.8	56	0.01401	154.742	1.1565	0.5	2.6	2.6	35	232.05	0.07274	0.513	0.62404	41438.0	12	0.35	162.75	303.75	2.73
IIIF23	9.36	1.722	155.69	165.05	1.49	0.39	103.8	48	0.01166	149.395	1.2215	0.5	2.6	2.6	35	233.87	0.04002	0.33286	0.37288	29891.5	14.5	0.33	146.74	317.33	3.08
IIIF24	10.26	1.225	110.75	121.01	0.81	0.27	122.3	76	0.01166	149.395	1.2215	0.5	2.6	2.6	35	233.87	0.04002	0.33286	0.37288	29891.5	14.5	0.33	146.74	317.33	3.08
IIIF25	9	1.072	96.92	105.92	0.87	0.3	109.4	60	0.01153	121.747	1.1129	0.5	2.4	2.4	35	201.6	0.04464	0.24038	0.28502	64614.3	11.25	0.41	227.86	415.47	2.43
IIIF26	18.14	3.557	321.59	339.73	1.69	0.39	159.7	73	0.01949	201.024	1.2588	0.5	2.6	2.6	35	236.6	0.07667	0.67961	0.75628	55933.1	9.38	0.43	227.86	415.47	2.43
IIIF27	12.75	0.902	81.55	94.3	0.83	0.34	115.2	75	0.01218	113.614	0.9862	0.5	2.4	2.4	35	201.6	0.06324	0.24038	0.28502	64614.3	11.25	0.41	227.86	415.47	2.43
IIIF28	14.97	1.057	95.56	110.53	0.94	0.41	118.9	73	0.01154	117.585	0.9899	0.5	2.4	2.4	35	198.24	0.07551	0.20226	0.2655	51265.8	13	0.42	286.71	464.99	4.35
IIIF29	11.31	1.082	97.82	109.13	1.08	0.39	95.97	58	0.01817	101.046	1.0529	0.5	2.4	2.4	35	201.6	0.0361	0.24261	0.31653	60499.2	12	0.38	220.27	364.97	2.82
IIIF30	7.59	2.177	196.82	204.41	1.84	0.36	93.82	46	0.03157	111.092	1.1841	0.5	2.55	2.4	35	214.2	0.05206	0.27429	0.33636	59650.9	11.74	0.38	154.42	335.35	1.37
Media					1.014	0.36	121.02	74.067	0.01386	129.252	1.0666	0.5	2.5	2.48			0.01857	0.24949	0.33636	59650.9	11.74	0.39	253.71	411.67	2.92
D.S					0.34	0.065	20.59	15.59	0.00538	26.101	0.0955	0.11	0.11	0.1			0.01857	12808	0.13176	14645.7	2.62	0.04	19.27	12.22	
C.V. %									38.84	20.19	8.96						29.92	46.69	39.17	24.55	22.19				

Pinus radiata de 52 años de edad (Estado Verde)

N° Probas	Total		A	Ya m	Yp	Pm	Pp	Z	T-Esp/Jan	Coef. de Tém. adm. nati	Q	b	h	Luz	Volum	We	Wp	Wt	MOE	AAC	Densid ad	Est. L.P	MOR	
	AI	A2*																						Kgf/cm
IFR1D11	20.58	1.896	241.22	261.80	2.50	0.42	110	98	0.1733	104.72	0.9520	1.333	2.49	2.55	35	222.23	0.0926	1.0854	1.1781	60576.0	4.8	0.42	317.76	356.67
IFR1D12	25.67	1.888	180.15	205.82	1.30	0.34	190	151	0.0246	158.32	0.8333	1.000	2.55	2.53	35	225.80	0.1137	0.7978	0.9115	115276.4	3.5	0.55	485.69	611.13
IFR3B11	21.44	2.119	202.19	223.63	1.60	0.32	160	134	0.0492	139.77	0.8736	1.000	2.55	2.56	35	228.48	0.0938	0.8850	0.9788	104915.3	2.9	0.48	420.96	502.64
IFR3B12	25.84	1.877	179.10	204.94	1.30	0.34	190	152	0.0253	157.64	0.8297	1.000	2.57	2.56	35	230.27	0.1122	0.8900	1.1136.2	2.2	0.52	473.79	592.24	
IFR3C11	18.86	1.675	88.79	107.65	1.00	0.46	150	82	0.0079	107.65	0.7177	0.5358	2.56	2.57	35	230.27	0.0819	0.3856	0.4675	43970.4	3.2	0.42	254.61	465.74
IFR3C12	27.72	2.029	193.60	221.32	1.40	0.36	190	154	0.0289	158.09	0.8321	1.000	2.57	2.59	35	232.97	0.1190	0.8310	0.9500	102690.4	3.0	0.46	468.97	578.60
IFR3C13	28.275	1.756	167.55	195.83	1.30	0.39	180	145	0.0260	150.64	0.8369	1.000	2.56	2.58	35	229.37	0.1233	0.7305	0.8538	92787.1	3.2	0.45	453.74	563.26
IIIDB2	31.73	2.588	245.03	276.76	1.50	0.38	220	167	0.0211	184.51	0.8387	1.000	2.59	2.56	35	237.50	0.1336	1.0317	1.1653	103484.7	6.3	0.58	498.86	657.18
IIIF2D1	15.00	1.771	168.98	192.66	2.20	0.32	190	148	0.0448	87.57	0.4609	1.000	2.62	2.59	35	232.06	0.1020	0.7282	0.8302	114087.0	3.8	0.49	457.76	587.67
IIIF3A21	25.28	2.224	282.95	308.23	2.00	0.32	180	158	0.0764	154.11	0.8562	1.333	2.56	2.59	35	221.31	0.0676	0.8853	0.9531	124156.2	4.8	0.54	389.19	421.62
IIIF3A22	15.81	1.180	112.59	128.40	1.10	0.31	150	102	0.0165	116.73	0.7782	1.000	2.56	2.58	35	229.37	0.0689	0.4909	0.5598	82115.0	5.2	0.39	319.18	469.39
IIIF3C11	25.20	1.234	117.74	142.94	1.10	0.36	160	120	0.0525	119.26	0.8519	1.000	2.58	2.57	35	224.81	0.0934	0.6493	0.7427	85291.6	5.7	0.43	378.69	441.81
IIIF3C12	28.38	1.878	179.19	207.57	1.60	0.43	160	140	0.0370	129.95	0.8122	1.000	2.58	2.57	35	232.07	0.1086	0.6493	0.7427	85291.6	5.7	0.43	378.69	441.81
IIIF3A11	22.44	1.449	138.26	160.70	1.30	0.33	150	132	0.0418	129.73	0.8109	1.000	2.57	2.57	35	231.17	0.1228	0.5074	0.6160	95181.0	9.3	0.35	431.32	492.94
IIIF3A12	16.00	1.750	208.73	224.73	1.90	0.32	140	100	0.0395	118.28	0.8449	1.250	2.54	2.56	35	227.58	0.0703	0.5889	0.6845	98166.0	5.8	0.39	410.96	453.26
IIIF3A13	21.39	2.069	246.78	268.17	1.70	0.31	180	138	0.0331	157.74	0.8764	1.250	2.58	2.60	35	232.96	0.0918	0.9172	0.9875	78603.2	5.3	0.42	315.39	441.54
IIIF1B22	19.32	1.540	146.94	166.26	1.10	0.28	190	138	0.0158	151.15	0.7955	1.000	2.52	2.55	35	229.37	0.0702	0.6559	0.7422	127927.3	4.1	0.52	445.63	613.54
IIIF3C11	16.10	2.448	207.63	223.73	1.80	0.28	140	115	0.0668	124.29	0.8878	1.000	2.52	2.54	35	224.37	0.0662	0.5889	0.6845	98166.0	5.8	0.48	406.26	494.86
IIIF3C12	19.99	2.087	248.92	268.92	1.80	0.31	170	129	0.0243	149.40	0.8788	1.250	2.57	2.55	35	229.37	0.0702	0.6559	0.7422	127927.3	4.1	0.52	445.63	613.54
IIIF3C21	21.85	2.326	221.94	243.80	1.50	0.31	190	141	0.0263	162.53	0.8354	1.000	2.50	2.52	35	225.79	0.0968	0.9830	1.0798	119903.5	5.5	0.49	455.34	613.58
IIIF3C22	19.20	0.821	78.34	97.34	0.80	0.30	160	128	0.0156	121.92	0.7620	1.000	2.52	2.58	35	225.75	0.0850	0.3470	0.4321	106520.6	5.8	0.51	403.82	504.78
IIIF3C23	16.66	1.434	136.83	153.49	1.10	0.28	180	119	0.0134	139.53	0.7752	1.000	2.52	2.56	35	232.96	0.1082	0.3842	0.4923	101433.3	4.4	0.52	434.12	580.86
IIIF3C24	24.14	1.642	156.69	180.82	1.20	0.34	190	142	0.0179	150.68	0.7931	1.000	2.60	2.54	35	233.87	0.1032	0.6699	0.7732	101433.3	4.4	0.52	434.12	580.86
IIIF3C25	25.20	1.407	89.49	114.69	0.90	0.30	180	140	0.0135	127.44	0.7080	1.000	2.60	2.57	35	232.96	0.1082	0.3842	0.4923	95560.0	3.8	0.54	431.35	554.60
IIIF4D11	16.60	1.732	165.26	181.87	1.40	0.27	150	123	0.0419	129.90	0.8661	1.000	2.60	2.62	35	227.57	0.0730	0.7992	0.7410	117325.0	6.4	0.42	235.33	382.41
IIIF4D12	10.80	2.083	176.67	187.47	1.70	0.27	130	80	0.0286	110.28	0.8483	0.8889	2.58	2.52	35	238.42	0.0453	0.7410	0.7863	67919.2	6.4	0.42	235.33	382.41
IIIF4D21	22.27	1.074	91.09	113.36	1.00	0.33	150	135	0.0340	113.06	0.7558	0.8889	2.56	2.59	35	232.06	0.0960	0.3975	0.4885	98588.1	2.7	0.54	412.72	554.58
IIIF4D22	20.64	2.393	285.42	306.06	1.90	0.32	180	129	0.0310	161.08	0.8949	1.250	2.56	2.59	35	232.06	0.0889	0.6677	0.8404	100481.7	5.12	0.48	395.23	504.29
MEDIA DESV. C.V.(0/1)					1.43	0.32	162	127	0.0317	133.726	0.8275	0.0523			35	232.06	0.0677	0.7527	0.8404	100481.7	5.12	0.48	395.23	504.29
									0.77	17.076	0.08	0.08			35	232.06	0.0182	0.2640	0.2638	16222.4	1.32	0.059	54.15	65.15
										0.13	0.08	0.08			35	232.06	0.21	0.35	0.31	0.16	0.26	0.12	0.14	0.13

Pinus radiata de 52 años de edad (Estado seco)

Nº Probenas	A1	A2*	A2	A	Ym	Yp	Pm	Pp	Z	T.Españ	Ka	Coef	Q	b	h	Luz	Volum	We	Wp	Wi	MOE	AAC	Densid	Est.		MOR
																								L.P	MOR	
unidades	Kgf/cm	lectura	Kgf/cm	Kgf/cm	cm	cm	Kgf	Kgf	cm/Kgf	Kgf	Kgf	admstratio	Kgf/cm²	cm	cm	cm	cm³	cm³/cm³	cm³/cm³	cm³/cm³	Kgf/cm²	mm	gr/cm³	Kgf/cm²	Kgf/cm²	
13F1D11	32.55	0.825	157.44	189.99	1.24	0.42	250	155	0.0086	153.22	0.6129	2	2.45	2.45	35	210.06	0.1549	0.7494	0.9044	1.09789	3.1	0.58	553.34	892.49		
13F1D12	32.25	10.450	276.71	308.96	1.50	0.43	300	150	0.0071	205.97	0.6866	2	2.46	2.43	35	209.22	0.1541	1.3226	1.4767	1.05928	5.4	0.55	542.13	1084.26		
13F3B11	32.80	0.824	157.25	190.05	1.23	0.41	290	160	0.0063	154.14	0.5328	2	2.46	2.48	35	213.52	0.1536	0.7364	0.8901	1.11478	2.5	0.55	555.19	1006.26		
13F3B12	31.85	0.768	73.28	105.13	0.72	0.35	300	162	0.0031	146.01	0.4867	1	2.47	2.47	35	213.53	0.1492	0.3432	0.4924	1.49747	5.2	0.52	634.07	1045.18		
14F3C11	31.78	1.269	121.08	152.87	1.11	0.39	230	163	0.0107	137.72	0.5988	1	2.45	2.47	35	211.80	0.1501	0.5717	0.7218	1.21341	7.4	0.48	572.52	807.84		
14F3C12	30.80	1.368	261.06	291.86	1.24	0.35	350	176	0.0051	235.37	0.6725	2	2.45	2.46	35	210.94	0.1460	1.2376	1.3836	1.47780	5.3	0.59	623.21	1239.34		
14F3C13	45.15	1.306	249.23	294.38	1.33	0.43	340	210	0.0069	221.34	0.6510	2	2.41	2.40	35	202.44	0.2230	1.2312	1.4542	1.57124	6.2	0.67	794.22	1285.87		
111D22	8.50	1.357	258.97	267.47	1.20	0.17	320	100	0.0047	222.89	0.6965	2	2.44	2.48	35	209.22	0.1081	1.2228	1.7869	1.69414	4.4	0.59	349.84	1119.48		
12F2D1	22.62	1.958	373.85	396.47	1.56	0.29	370	156	0.0059	254.15	0.6869	2	2.43	2.46	35	211.79	0.0401	1.2228	1.2629	1.85127	2.1	0.52	313.56	1045.18		
12F3A21	6.3	1.306	249.23	255.53	1.22	0.14	300	90	0.0051	209.45	0.6982	2	2.47	2.47	35	213.53	0.0295	0.7096	1.1672	1.1967	3.7	0.55	556.94	1320.94		
12F3A22	14.0	1.588	151.52	165.52	1.10	0.28	220	100	0.0068	150.47	0.6840	1	2.47	2.48	35	214.39	0.2603	0.7096	0.7096	1.02022	5.3	0.55	346.99	763.38		
13E3C11	55.80	0.857	81.77	137.57	0.96	0.62	230	180	0.0072	140.38	0.6104	1	2.46	2.46	35	212.66	0.1144	1.0122	1.1266	1.26611	3.4	0.49	622.06	794.85		
13E3C12	46.75	0.847	80.82	127.57	0.90	0.55	270	128	0.0071	172.36	0.6384	1	2.47	2.48	35	214.39	0.2603	0.3814	0.6417	82598.6	3.4	0.53	447.75	944.48		
13E3C13	47.08	1.607	306.68	353.76	1.52	0.44	340	170	0.0050	141.74	0.5906	1	2.46	2.47	35	205.81	0.2271	1.0122	1.1266	97396.7	3.7	0.53	447.75	889.09		
13E3A11	28.66	1.431	136.54	165.21	1.07	0.39	330	224	0.0078	193.91	0.5876	2	2.46	2.46	35	211.80	0.2223	1.4479	1.6702	1.42352	4.2	0.47	754.69	1199.04		
13E3A12	56.00	1.058	201.90	257.90	1.33	0.50	330	147	0.0073	154.40	0.6433	1	2.45	2.46	35	210.08	0.2644	0.9533	1.2177	1.31123	2.7	0.57	754.69	1199.04		
13E3B11	28.66	1.431	136.54	165.21	1.07	0.39	330	147	0.0078	193.91	0.5876	2	2.45	2.43	35	208.37	0.1544	0.6421	0.5188	0.6732	1.28996	4.0	0.59	598.78	725.79	
13E3B12	52.08	1.096	209.16	261.24	1.35	0.56	310	186	0.0064	149.24	0.7462	2	2.45	2.47	35	212.66	0.1348	0.6421	0.5188	0.6732	1.28996	4.0	0.59	598.78	725.79	
13E3A13	32.17	1.133	108.11	140.26	0.94	0.39	200	165	0.0157	193.51	0.6242	2	2.47	2.45	35	210.08	0.2479	0.9533	1.2177	1.31123	2.7	0.57	754.69	1199.04		
13E3C11	119.99	1.014	193.51	313.30	1.21	0.71	400	338	0.0081	259.09	0.6477	2	2.44	2.47	35	211.80	0.5885	0.9136	1.4802	1.38211	9.5	0.61	1187.1	1404.94		
13E3C12	29.93	2.017	192.46	222.39	1.37	0.41	220	146	0.0130	177.57	0.7379	1	2.44	2.42	35	213.53	0.1402	0.5772	0.9013	1.0415	102547.5	7.7	0.43	506.65	766.45	
13E3C21	103.60	0.620	118.32	221.92	1.09	0.70	310	296	0.0279	203.59	0.6508	2	2.43	2.42	35	208.37	0.2771	0.7455	1.0226	1.15462	6.2	0.62	758.94	1148.35		
13E3C22	57.75	0.814	155.34	213.09	1.20	0.55	270	210	0.0108	177.57	0.6577	2	2.43	2.44	35	212.66	0.3310	1.2025	1.5335	1.35681	0.2	0.62	899.15	1229.31		
13E3C23	70.40	1.340	255.72	326.12	1.35	0.55	350	256	0.0085	241.57	0.6902	2	2.45	2.45	35	212.66	0.1098	0.6388	0.7486	1.34037	3.6	0.45	514.90	863.84		
13E3C24	22.88	1.395	133.11	155.99	0.95	0.32	240	143	0.0085	164.20	0.6842	1	2.45	2.45	35	202.44	0.2183	1.0228	1.2412	1.05181	4.3	0.59	642.94	1172.42		
13E3C25	44.20	1.085	207.06	251.26	1.27	0.52	310	170	0.0054	197.84	0.6382	2	2.42	2.40	35	202.44	0.1163	0.9172	1.0336	1.39719	8.8	0.60	651.54	940.66		
13E3D11	48.60	1.170	223.28	271.88	1.44	0.54	270	180	0.0100	188.80	0.6539	2	2.46	2.47	35	213.53	0.2276	1.0457	1.2733	95992.0	6.2	0.55	627.11	940.66		
13E3D12	47.84	1.384	264.12	311.96	1.48	0.52	290	184	0.0083	210.78	0.7268	2	2.46	2.41	35	204.12	0.2344	1.2939	1.5283	1.11967	5.1	0.56	687.27	1083.20		
13E3D22	78.00	0.902	172.13	250.13	1.18	0.60	330	260	0.0090	211.98	0.6629	2	2.46	2.47	35	212.66	0.3668	0.8094	1.1762	1.25298	8.8	0.56	909.50	1154.37		
MEDIA							285	188	0.0090	186.51	0.6629	2	2.46	2.47	35	212.66	0.3668	0.8709	1.1081	1.19555	4.3	0.54	669.27	1014.28		
DESV.									0.0051	33.25	0.0441							0.1330	0.2864	0.3092	23236.5	1.69	0.62	220.51	183.59	
C.V.(%)									0.56	9.18	0.07							0.58	0.32	0.28	0.19	0.39	0.11	0.33	0.18	

VIII. ANEXOS.

ANEXO 1.

Gráfico Esfuerzo v/s Deformación.

Un esfuerzo es una fuerza que puede actuar externa o internamente, es decir, puede ser ejercida por un cuerpo sobre otro o por una parte del cuerpo sobre otra. Toda carga o esfuerzo produce una deformación, hasta un cierto límite, la deformación es proporcional al esfuerzo aplicado, sin embargo, hay diferencias entre los distintos materiales ya que, no siempre, un esfuerzo determinado produce la misma deformación (Valenzuela, 1996).

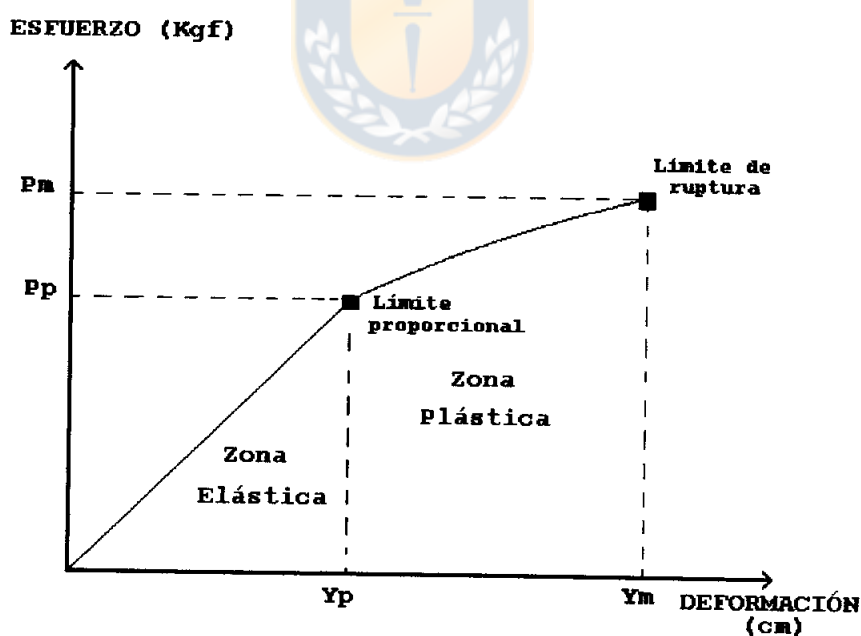


Figura 10. Comportamiento gráfico de la madera cuando se aplica una carga.

ANEXO 2.

Módulo de Elasticidad (MOE).

Corresponde a una medida de la rigidez de la Madera

(Pérez, 1983; Gutiérrez, 1994; Gascón, 1997).

Además representa la inclinación de la parte recta del diagrama (parte elástica) esfuerzo v/s deformación.

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, 1983; Díaz- Vaz y Cuevas, 1982; Gutiérrez, 1994).

Su expresión matemática se representa de la siguiente forma:

$$E = MOE = \sigma / \varepsilon \quad (\text{Kgf} / \text{cm}^2)$$

Donde :

E = MOE = Módulo de elasticidad

$\sigma = P / A =$ Esfuerzo normal por unidad de superficie

(Kgf / cm²).

$\varepsilon =$ Deformación por unidad de longitud (adimensional).

ANEXO 3.

Módulo de Ruptura (MOR).

Corresponde al valor más alto de la resistencia, expresado como esfuerzo unitario (Torricelli, 1941). Se obtiene antes de que se produzca la falla del material. Su expresión matemática corresponde a:

$$\text{MOR} = (3 \cdot P_m \cdot l) / (2 \cdot b \cdot h^2) \quad (\text{Kgf} / \text{cm}^2)$$

Donde:

P_m : Carga máxima (Kgf)

l : Luz de la probeta (cm)

b : Ancho de la probeta (cm)

h : Espesor de la Probeta (cm)



ANEXO 4.

Esfuerzo en el límite proporcional (σ).

Corresponde a la carga unitaria máxima a que se puede someter un material sin que se produzcan deformaciones permanentes (Valenzuela, 1996; Gascón, 1997).

Su expresión matemática es la siguiente:

$$\sigma = (3 \cdot P_p \cdot l) / (2 \cdot b \cdot h^2) \quad (\text{Kgf} / \text{cm}^2)$$

Donde :



P_p : Carga hasta el límite proporcional (Kgf)

l : Luz de la probeta (cm)

b : Ancho de la probeta (cm)

h : Espesor de la probeta (cm)

ANEXO 5.

Trabajo Elástico (We).

Corresponde a la cantidad de energía que queda almacenada como energía de deformación en una probeta. Puesto que no existe deformación permanente del material, dentro de la zona elástica, la totalidad de esta energía potencial será recuperada al retirar la carga (Sloane, 1966).

Este trabajo actúa hasta el límite proporcional y su expresión matemática se la siguiente:

$$We = ((\frac{1}{2}) * Yp * Pp) / V \quad (Kgf\text{-}cm / cm^3)$$

Donde :

Yp: Deflexión hasta el límite proporcional (cm)

Pp: Carga hasta el L.P. (Kgf)

V: Volumen de la probeta (cm³) (V = b*h*l)

La expresión antes mencionada corresponde al área bajo la curva en la zona elástica del diagrama carga / deflexión.

ANEXO 6.

Trabajo Plástico (Wp).

Corresponde a la energía que se ha disipado en forma de calor y una pequeña parte en la recuperación de la deformación (Gascón, 1997).

Esta representado por el área en la zona plástica del diagrama carga / deflexión.

$$W_p = (A_2 / V) * Q \quad (\text{Kgf-cm} / \text{cm}^3)$$

Donde:



A₂: Area de la zona plástica (Kgf-cm)

V: Volumen de la probeta (cm³)

Q: Factor que representa el trabajo de un cm del gráfico.

ANEXO 7.

Diagrama para el cálculo del factor de corrección (Q).

El valor de "Q" corresponde a un factor que representa el trabajo de un cm del gráfico. Por ejemplo: si 1cm del gráfico en la distancia vertical es 30 Kgf y la deflexión equivalente para un cm del gráfico es de 0,3 cm, entonces $Q = 30 \times 0.3 = 9$ Kgf por cm³ de superficie del gráfico (Aguayo y Alarcón, 1995).

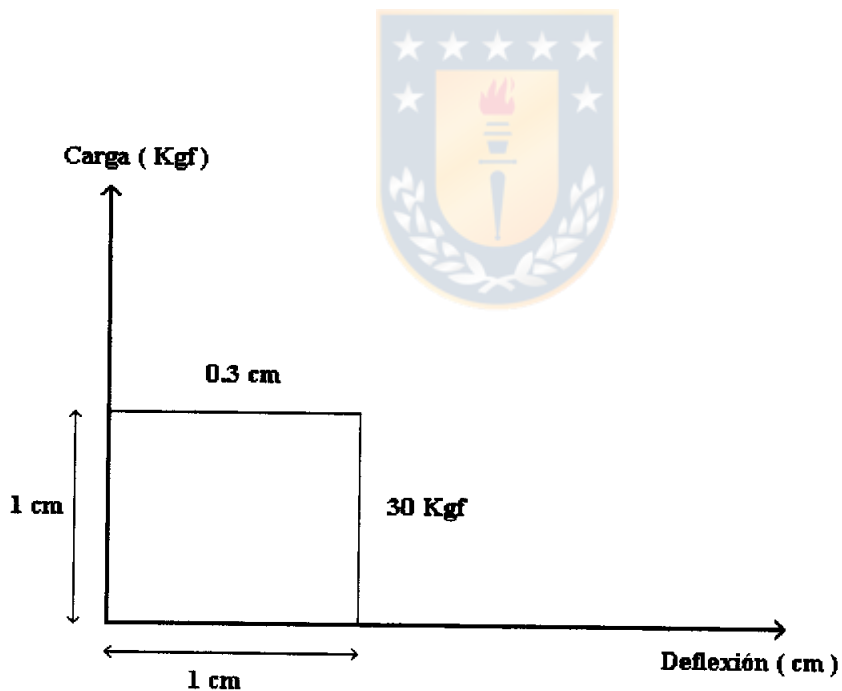


Figura 11. Diagrama para el cálculo del factor de corrección Q.

ANEXO 8.

Trabajo total (Wt).

El Trabajo total está representado por el área total bajo la curva del diagrama carga / deflexión.

Su expresión matemática es la siguiente:

$$Wt = (We + Wp) = (At * Q) / V \quad (\text{Kgf-cm/cm}^3)$$

Donde:

We: Trabajo elástico (Kgf-cm/cm³)

Wp: Trabajo plástico (Kgf-cm/cm³)

Q: Factor de corrección (Kgf-cm/cm²)

V: Volumen de la probeta (cm³)



ANEXO 9.

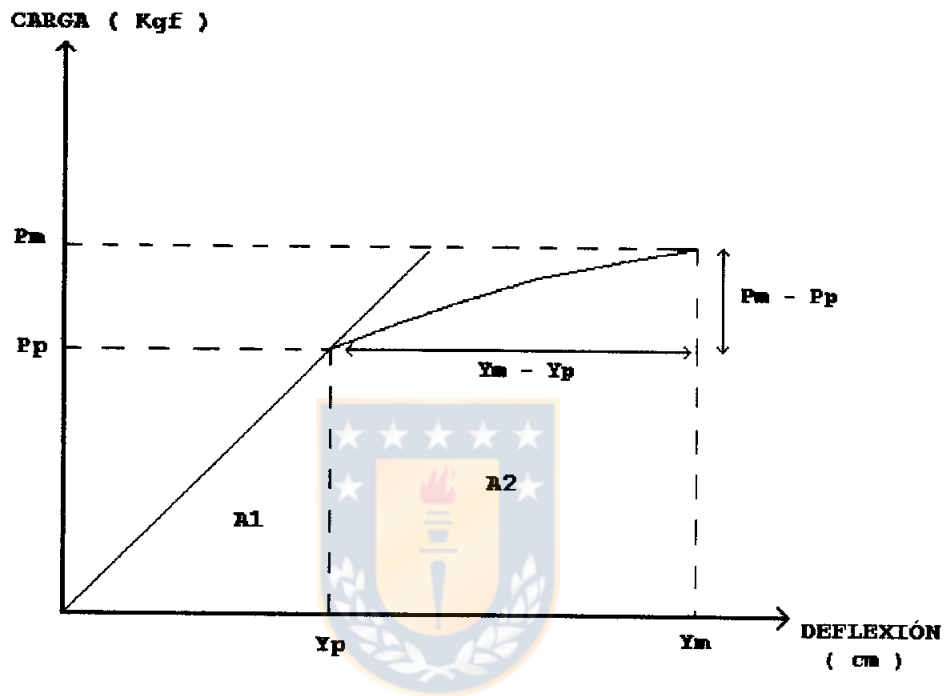
Gráfico Carga / Deflexión .

Figura 12. Diagrama que muestra la curva carga/deflexión típica.

Donde:

$A1$: área elástica

$A2$: área plástica

Y_p : Deflexión hasta el límite proporcional (cm)

Y_m : Deflexión hasta la ruptura (cm)

P_p : Carga hasta el límite proporcional (Kgf)

P_m : Carga máxima hasta la ruptura (Kgf)

ANEXO 10.

Coefficiente de Tetmajer (η).

Kollmann y Cote (1968) citados por Aguayo y Alarcón (1995) explican que este coeficiente corresponde a un detector sensitivo de los defectos sobre la madera en flexión con valores cercanos a 0.7 para madera estructural.

Su expresión matemática corresponde a:

$$\eta = (At) / (Pm * Ym) \quad (\text{adimensional})$$

Donde:

At: Area total bajo la curva del gráfico carga/deflexión
(Kgf-cm)

Pm: Máxima carga hasta la ruptura (Kgf)

Ym: Deflexión máxima correspondiente a la máxima carga
(cm)

ANEXO 11.

Módulo Plástico de Janka (Z).

Es un indicador de la plasticidad de la madera en flexión
(Valenzuela, 1996).

Su expresión matemática corresponde a:

$$Z = (Y_m - Y_p) / (P_m - P_p) \quad (\text{cm} / \text{Kgf})$$

Donde:

P_p : Carga en el límite proporcional (Kgf)

P_m : Carga máxima en la ruptura (Kgf)

Y_m : Deflexión máxima (cm)

Y_p : Deflexión hasta el límite proporcional (cm)



ANEXO 12.

Trabajo Específico de Janka (α).

Este parámetro representa el trabajo realizado por la carga hasta el quiebre o falla de la viga, es un indicador de la tenacidad de la pieza de madera (Valenzuela, 1996).

La tenacidad corresponde a la capacidad de la madera para absorber energía al aplicarse una carga que actúa en forma instantánea (Infor, 1991).

Su expresión matemática es:

$$\alpha = At / Ym \quad (Kgf)$$

Donde:

At: Area total bajo la curva del gráfico carga/deflexión
(Kgf-cm)

Ym: Máxima deflexión correspondiente a la máxima carga
(cm)

ANEXO 13.

Flexión Estática .

Según la 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 mm/min, no variando más allá de un 25 %, en el centro de la luz (figura 4); se registra la deflexión cada ciertos intervalos de carga. Los datos obtenidos permiten obtener los gráficos necesarios para la obtención de los parámetros que caracterizan a la flexión estática.

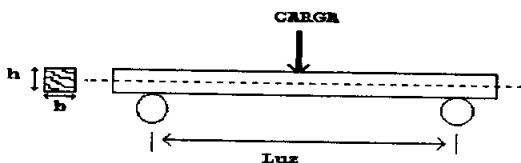


Figura 13. Esquema del ensayo de flexión estática.