



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS
PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA
ROXB (MELINA) DE RETALHULEU PARA RECOMENDACIÓN DE SU USO EN LA
INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Carlos Enrique González del Cid

Asesorado por la Inga. Lesbia Magali Herrera López

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS
PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA
ROXB (MELINA) DE RETALHULEU PARA RECOMENDACIÓN DE SU USO EN LA
INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ENRIQUE GONZÁLEZ DEL CID
ASESORADO POR LA INGA. LESBIA MAGALI HERRERA LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Diego Velásquez Jofre
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS
PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA
ROXB (MELINA) DE RETALHULEU PARA RECOMENDACIÓN DE SU USO EN LA
INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha mayo de 2009.



Carlos Enrique González del Cid



Guatemala,
20 de febrero de 2012

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Universidad de San Carlos

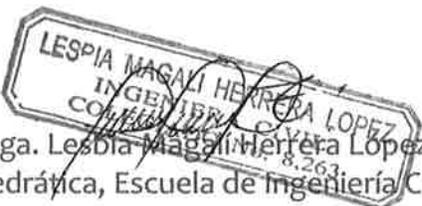
Estimado Ingeniero Melini.

En mi calidad de Asesora, le informo que he revisado el trabajo de graduación **DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (MELINA) DE RETALHULEU PARA RECOMENDACIÓN DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Carlos Enrique González del Cid.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Inga. Lespia Magali Herrera Lopez
Catedrática, Escuela de Ingeniería Civil

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua

/lmhl



Guatemala,
26 de marzo de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (MELINA) DE RETALHULEU PARA RECOMENDACIÓN DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Carlos Enrique González del Cid, quien contó con la asesoría de la Inga. Lesbia Magalí Herrera López.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles


FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua

/bbdeb.





El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Lesbia Magalí Herrera López y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Carlos Enrique González del Cid, titulado **DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (MELINA) DE RETALHULEU PARA RECOMENDACIÓN DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

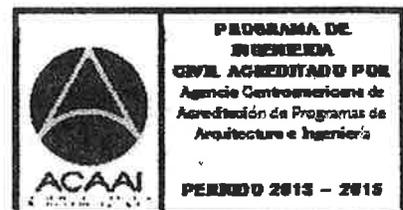
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco **DIRECTOR**



Guatemala, junio de 2013.

/bbdeb.

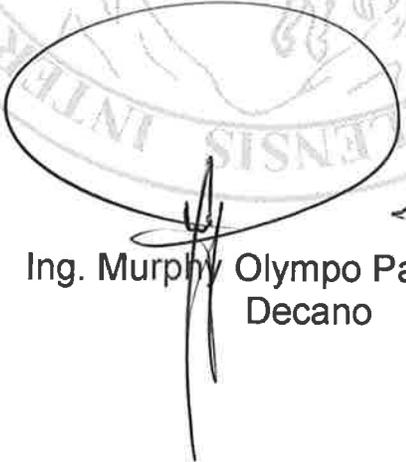
Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (MELINA) DE RETALHULEU PARA RECOMENDACIÓN DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Enrique González del Cid**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano



Guatemala, junio de 2013

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Quien me ha dado todo y todo se le debo a él.

Mis padres

Carlos Rubén González Díaz e Irma Annabella del Cid Dubón por todo el esfuerzo que han hecho por mí y el amor recibido durante todos estos años.

Mi abuela

Cristobalina Dubón Estrada por los buenos consejos y el cariño recibido. Floridalma Díaz (QEPD).

Toda mi familia

A todos mis tíos y primos que han sido parte fundamental en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por todas las bendiciones que me dado. Y haberme ayudado a completar una meta más en mi vida.
- Mis amigos y compañeros** Por los buenos tiempos compartidos en la universidad y el apoyo recibido durante toda la carrera. En especial a Juan Carlos Solís, Andrés Coronado y Edher Morales.
- Sección de Tecnología de la Madera** Por toda la ayuda y orientación recibida durante la realización de este estudio. A los ingenieros Pablo de León, Ericka Cano y Alexander Contreras. Igualmente a Jesiel Enríquez y a todos los del taller de carpintería.
- Mi asesora** Ingeniera Magali Herrera, toda la ayuda para la culminación de este trabajo de graduación.
- Ing. Carlos de León Prera** Que de no ser por él este estudio no se hubiera realizado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Definiciones	1
1.2. Descripción geográfica del lugar de extracción	1
1.2.1. Descripción general del área	1
1.2.2. Ubicación geográfica	1
1.2.3. Vías de acceso	2
1.2.4. Ecología.....	2
1.2.5. Climatología.....	3
1.2.6. Topografía	4
1.2.7. Suelos.....	5
1.2.8. Hidrología	5
1.3. Descripción de la especie en estudio.	5
1.3.1. Gmelina arbórea Roxb.....	5
1.4. Selección y marcado de probetas.	7
1.4.1. Corte de los árboles.....	7
1.4.2. Identificación y selección de especies.....	12
1.4.3. Selección y número de probetas	13
1.4.4. Marcado y aserrado.....	14
1.4.5. Corte y almacenaje.....	16

1.5.	Selección y disposición de ensayos	19
1.6.	Descripción de los ensayos.....	20
1.6.1.	Flexión estática	22
1.6.2.	Compresión paralela a la fibra.....	24
1.6.3.	Compresión perpendicular a la fibra.....	24
1.6.4.	Corte paralelo a la fibra	25
1.6.5.	Tensión paralela a la fibra	26
1.6.6.	Tensión perpendicular a la fibra	27
1.6.7.	Dureza.....	27
1.6.8.	Clivaje.....	28
1.6.9.	Peso específico y contracción volumétrica.....	29
1.6.10.	Contenido de humedad	30
2.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	31
2.1.	Desarrollo de los ensayos	31
2.1.1.	Flexión estática	32
2.1.1.1.	Equipo	32
2.1.1.2.	Preparación.....	32
2.1.1.3.	Procedimiento	33
2.1.1.4.	Cálculo de resultados.....	34
2.1.2.	Compresión paralela a la fibra.....	36
2.1.2.1.	Equipo	36
2.1.2.2.	Preparación.....	37
2.1.2.3.	Procedimiento	37
2.1.2.4.	Cálculo de resultados.....	38
2.1.3.	Compresión perpendicular a la fibra.....	40
2.1.3.1.	Equipo	40
2.1.3.2.	Preparación.....	40
2.1.3.3.	Procedimiento	41

	2.1.3.4.	Cálculo de resultados	42
2.1.4.		Corte paralelo a la fibra	43
	2.1.4.1.	Equipo	43
	2.1.4.2.	Preparación	44
	2.1.4.3.	Procedimiento.....	44
	2.1.4.4.	Cálculo de resultados	45
2.1.5.		Tensión paralela a la fibra	46
	2.1.5.1.	Equipo	47
	2.1.5.2.	Preparación	47
	2.1.5.3.	Procedimiento.....	47
	2.1.5.4.	Cálculo de resultados	48
2.1.6.		Tensión perpendicular a la fibra.....	49
	2.1.6.1.	Equipo	50
	2.1.6.2.	Preparación	50
	2.1.6.3.	Procedimiento.....	51
	2.1.6.4.	Cálculo de resultados	51
2.1.7.		Dureza	52
	2.1.7.1.	Equipo	52
	2.1.7.2.	Preparación	52
	2.1.7.3.	Procedimiento.....	52
	2.1.7.4.	Cálculo de resultados	53
2.1.8.		Clivaje.....	54
	2.1.8.1.	Equipo	54
	2.1.8.2.	Preparación	55
	2.1.8.3.	Procedimiento.....	55
	2.1.8.4.	Cálculo de resultados	56
2.1.9.		Peso específico y contracción volumétrica	56
2.1.10.		Contenido de humedad	57
2.2.		Análisis estadístico y evaluación de resultados.....	59

2.2.1.	Procedimiento	59
2.2.2.	Esfuerzos básicos	59
2.2.3.	Esfuerzos permisibles de trabajo	60
2.2.4.	Grados estructurales	61
2.3.	Prediseño de elementos estructurales más comunes	62
2.3.1.	Vigas	62
2.3.2.	Columnas	68
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	73
3.1.	Tablas de resultados	73
3.1.1.	Resultados físicos	73
3.1.2.	Resultados mecánicos	74
3.1.3.	Resumen análisis estadístico	76
3.1.4.	Esfuerzos básicos	79
3.1.5.	Grados estructurales	82
3.2.	Análisis de resultados	84
3.2.1.	Análisis de características físicas	84
3.2.2.	Análisis de características mecánicas	85
3.2.2.1.	Flexión estática	85
3.2.2.2.	Compresión paralela a la fibra.....	86
3.2.2.3.	Compresión perpendicular a la fibra....	88
3.2.2.4.	Corte paralelo a la fibra	89
3.2.2.5.	Tensión paralela a la fibra	90
3.2.2.6.	Tensión perpendicular a la fibra	91
3.2.2.7.	Dureza.....	92
3.2.2.8.	Clivaje.....	93
3.2.2.9.	Esfuerzos combinados	94
3.2.3.	Resumen de propiedades por especie y por edad .	96
3.3.	Prediseño de elementos estructurales	99

3.3.1.	Vigas.....	99
	3.3.1.1. Ejemplo.....	99
	3.3.1.2. Cargas máximas para vigas	102
3.3.2.	Columnas.....	104
	3.3.2.1. Ejemplo.....	104
	3.3.2.2. Cargas máximas para columnas	105
CONCLUSIONES		107
RECOMENDACIONES		109
BIBLIOGRAFÍA.....		111
ANEXOS.....		113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación finca Santa Fe	2
2	Identificación y orientación del árbol	8
3.	Corte de la cuña	9
4.	Corte de la base	9
5.	División de trozas	10
6.	Corte final de trozas	10
7.	Identificación de trozas.....	11
8.	Registro de trozas	11
9.	Selección de trozas por su altura	14
10.	Nomenclatura de barras.....	16
11.	Transporte de trozas al aserradero	17
12.	Corte de las trozas en barras	18
13.	Almacenamiento de las barras.....	19
14.	Fabricación de las probetas	22
15.	Ensayo de flexión estática.....	34
16.	Fallas en el ensayo de flexión estática.....	36
17.	Ensayo de compresión paralela a la fibra	38
18.	Fallas en el ensayo de compresión paralela 1	39
19.	Fallas en el ensayo de compresión paralela 2	40
20.	Ensayo de compresión perpendicular a la fibra	41
21.	Sentido de las fibras.....	42
22.	Probeta del ensayo de corte	43
23.	Ensayo de corte paralelo a la fibra.....	45

24.	Probeta del ensayo de tensión paralela a la fibra	46
25.	Ensayo de tensión paralela a la fibra	48
26.	Probeta del ensayo de tensión perpendicular a la fibra	50
27.	Ensayo de tensión perpendicular a la fibra	51
28.	Ensayo de dureza	53
29.	Probeta del ensayo de clivaje	54
30.	Ensayo de clivaje	55
31.	Momentos para diferentes tipos de empotramiento	64
32.	Factores de deflexión.....	68
33.	Esfuerzos a flexión.....	86
34.	Esfuerzos de compresión paralela a la fibra	87
35.	Esfuerzos de compresión perpendicular a la fibra	88
36.	Esfuerzos de corte	89
37.	Esfuerzos de tensión paralela a la fibra	90
38.	Esfuerzos de tensión perpendicular a la fibra	91
39.	Análisis de dureza radial	92
40.	Análisis de dureza tangencial	93
41.	Análisis de clivaje.....	94
42.	Análisis de esfuerzos combinados.....	95

TABLAS

I.	Ensayos realizados	20
II.	Resultados físicos	73
III.	Ensayos mecánicos de 10 años.....	74
IV.	Ensayos mecánicos de 15 años.....	75
V.	Análisis estadístico de los ensayos físicos de 10 años	76
VI.	Análisis estadístico de los ensayos físicos de 15 años	77
VII.	Análisis estadístico de los ensayos mecánicos de 10 años	77

VIII.	Análisis estadístico de los ensayos mecánicos de 15 años.....	78
IX.	Esfuerzos básicos de 10 años.....	80
X.	Esfuerzos básicos de 15 años.....	81
XI.	Grados estructurales de 10 años.....	82
XII.	Grados estructurales de 15 años.....	83
XIII.	Resumen de madera de 10 años y sus características	96
XIV.	Resumen de madera de 15 años y sus características	97
XV.	Cargas uniformes máximas para vigas de 10 años.....	103
XVI.	Cargas uniformes máximas para vigas de 15 años.....	103
XVII.	Cargas admisibles para columnas de 10 años	106
XVIII.	Cargas admisibles para columnas de 15 años	106

GLOSARIO

Albura	Se encuentra en la parte externa del tronco, bajo la corteza constituida por tejidos jóvenes en período de crecimiento. De coloración más clara que el duramen, más porosa y más ligera, con mayor riesgo a los ataques bióticos.
Arbórea	Se le llama de esta manera a cualquier especie de madera.
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials).
Barras	Son segmentos de madera del cual se cortan las piezas para elaborar las probetas. Sus dimensiones son las de 0,06 x 0,06 x 1,20 metros.
CH	Contenido de humedad
CI	Clivaje
CII	Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Clivaje	Esfuerzo necesario para hender la madera a lo largo de la fibra, ya sea en sentido radial o tangencial.
Co	Corte
Contracción volumétrica	Es el achicamiento en volumen al que es capaz de deformarse la especie sometida a tal ensayo.
CPF	Compresión paralela a la fibra
CPPF	Compresión perpendicular a la fibra
CV	Contracción volumétrica
Densidad	Se puede definir como el grado de compactación de las fibras de la madera. Está relacionada, directamente con el peso y resistencia. A mayor densidad, significa mayor peso y resistencia general.
Dirección radial	Perpendicular al axial, corta el eje del árbol en el plano transversal y es normal a los anillos de crecimiento aparecidos en la sección recta.
Dirección tangencial	Localizada también en la sección transversal pero tangente a los anillos de crecimiento o, también, normal a la dirección radial.

DR	Dureza radial
DT	Dureza tangencial
Duramen	Madera de la parte interior del tronco. Constituido por tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y resistencia, debido al proceso de lignificación. De coloración, a veces, más oscura que la exterior.
FE	Flexión estática
Fuste	Parte sólida de los árboles.
Hendimiento	Es el proceso de introducir una esfera de acero aplicando carga por medio de una máquina a la probeta de madera, para establecer su capacidad de resistencia a la penetración.
INAB	Instituto Nacional de Bosques.
Módulo de elasticidad	Expresa la relación existente entre la carga y la deformación dentro del límite de proporcionalidad.
MOE	Módulo de elasticidad
MOEC	Módulo de elasticidad a compresión

MOR	Módulo de ruptura
Nativo (a)	Autóctono, indígena.
PE	Peso específico
Peso específico	Relación entre el peso de una muestra desecada en cámara y el de un volumen de agua igual al de la muestra con un cierto grado de humedad, según se trate de madera verde, desecada al aire ó desecada en cámara.
PSF	Punto de saturación de la fibra en estado de humedad crítica, es cuando toda el agua libre se ha evaporado y el agua capilar empieza a evaporarse, aquí la humedad es constante entre un 25 a 30 por ciento.
TPF	Tensión paralela a la fibra
TPPF	Tensión perpendicular a la fibra

RESUMEN

En Guatemala existen pocos estudios realizados de las características físicas y propiedades mecánicas de las especies de madera y en este caso en particular de la especie *Gmelina arborea* Roxb. Aún más escasos son los estudios de las especies según su edad y la influencia de la madurez de la muestra en los resultados obtenidos en la determinación de sus propiedades mecánicas, por lo que no existe un parámetro de comparación en un rango de edades, con el fin de poder comercializar estas de una manera más eficientemente con respecto al uso final de las mismas.

La especie *Gmelina arborea* Roxb es considerada como una de las especies de mayor potencial comercial, por su capacidad de renovación y transformación de la madera. En este estudio se determinan las características físicas y propiedades mecánicas para dos distintas edades, de 10 y 15 años, de esta especie ubicada en la finca Santa Fe, ubicada en Aldea El Flor, San Andrés Villaseca, Retalhuleu, esto con el fin de la recomendación de su uso en la industria de la construcción.

Se realizó una investigación bibliográfica de la especie, en la cual se describe brevemente su distribución natural, de donde proviene, la familia a la que pertenece y sus características físicas así como sus propiedades mecánicas. Para el proceso de selección y corte de los árboles, selección de las trozas, así como el marcado y aserrado de las mismas en el área de estudio, se aplicó la Norma ASTM D 5536-04. Luego se elaboro una breve reseña de la ubicación de los árboles, la ecología del entorno, la climatología, tipo de suelo y topografía del lugar de extracción.

La Norma ASTM D 143-04 fue aplicada para la fabricación de las probetas y realización de los ensayos de laboratorio, se especifica el equipo para cada uno describiendo la preparación de las muestras y el procedimiento del ensayo.

De los resultados obtenidos se realizó un análisis por medio de promedios, desviaciones estándar y coeficientes de variación, para luego obtener los esfuerzos básicos, que fueron corregidos posteriormente para obtener los esfuerzos permisibles de trabajo. Se determinaron los grados estructurales de la especie en estudio, estos se presentan en el capítulo 3 junto a los resultados finales.

Además en el mismo capítulo se un análisis de los resultados de cada ensayo y se compararon para determinar cómo afecta la edad en las características y propiedades de la especie en estudio. Luego se presentan los prediseños de elementos estructurales más comunes, como lo son las vigas y columnas de la especie en estudio.

OBJETIVOS

General

Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas por dos distintas edades de la especie de madera *Gmelina arborea* Roxb (Melina) de Retalhuleu para recomendación de su uso en la industria de la construcción.

Específicos

1. Determinar las características físicas de las especies como peso específico, contenidos de humedad, etc.
2. Determinar las propiedades mecánicas de las especies como flexión estática, módulo de ruptura, dureza, compresión paralela y perpendicular a la fibras, corte y clivaje.
3. Determinar si la especie ensayada según la edad, es factible para su uso en elementos estructurales o no estructurales.
4. Contribuir con información técnica para la industrialización de la especie en estudio según su edad.

INTRODUCCIÓN

La investigación de la madera para su aplicación tanto a elementos estructurales como a sistemas constructivos es muy escasa en el país. Más escasos son los estudios de las especies según la edad, como varían las características y propiedades desde que son maderas verdes hasta llegar a cierta madurez.

Es por tal motivo que es necesario conocer las características físicas y propiedades mecánicas de la madera variando las edades para determinar qué tan factible podría ser su uso y poder pensar en la comercialización más efectivamente de dicho material.

La especie ensayada y analizada es *Gmelina arborea* Roxb (Melina), de 10 y 15 años, procedentes de la finca Santa Fe, ubicada a 223 kilómetros de la ciudad de Guatemala, en la aldea El Flor, municipio de San Andrés Villa Seca, departamento de Retalhuleu.

Para la determinación de las propiedades mecánicas y características físicas se utilizaron probetas limpias y libres de defecto como lo describen las Norma ASTM D143-04. Los ensayos mecánicos también están realizados bajo la Norma anteriormente mencionada. Para la selección, muestreo e identificación de los árboles y probetas se utilizó la Norma ASTM D 5536-04.

Debido a que se ensayan varias probetas, por edades y por especie, se realizó un análisis estadístico para determinar las características y propiedades según los resultados de los ensayos, después se hace una corrección a los datos, primero con los esfuerzos básicos para después obtener los esfuerzos permisibles, que son los recomendables para diseñar. Luego se realizarán pre diseños de elementos estructurales más comunes con los datos obtenidos de los ensayos por edad.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Definiciones

La madera puede definirse como el conjunto de tejidos de xilema que forman el tronco, raíces y ramas de los vegetales leñosos.

1.2. Descripción geográfica del lugar de extracción

Es de suma importancia las características geográficas, topográficas y climatológicas del lugar de extracción, por que estas afectan el crecimiento y desarrollo del árbol, y por ende las características físicas y propiedades mecánicas.

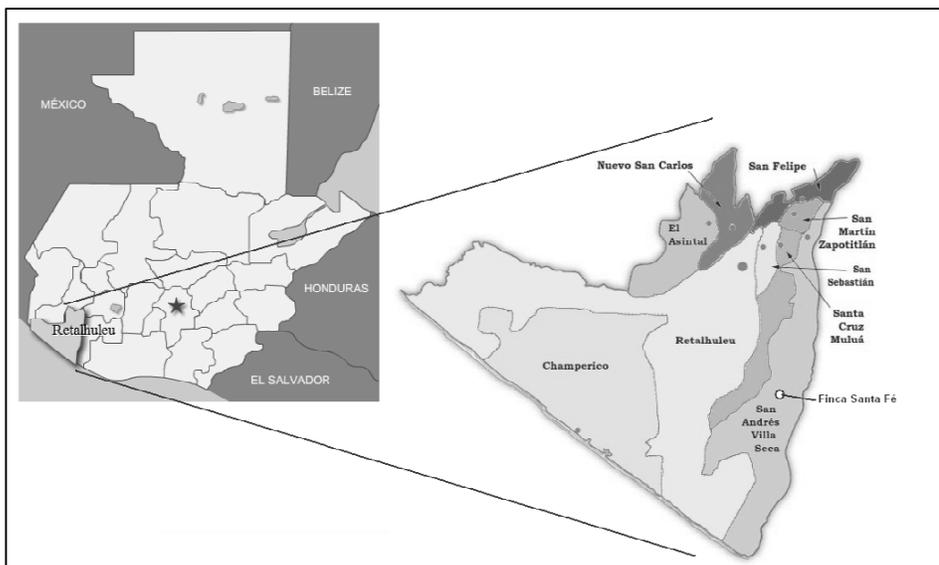
1.2.1. Descripción general del área

El presente estudio se realizó con madera Gmelina arbórea Roxb procedente de la plantación de 120 hectáreas de la finca Santa Fe, aldea El Flor, municipio de San Andrés Villa Seca, Retalhuleu.

1.2.2. Ubicación geográfica

La finca Santa Fe está localizada a 223 kilómetros de la ciudad de Guatemala, en la aldea El Flor, municipio de San Andrés Villa Seca, Retalhuleu. Las coordenadas de la entrada a la finca son las siguientes: latitud 14° 23' 16" N, longitud 91° 38' 28" E, con una altura de 100 metros sobre el nivel del mar.

Figura 1. **Ubicación finca Santa Fe**



Fuente: elaboración propia, con el programa Paint.

1.2.3. **Vías de acceso**

Para llegar a la finca desde la ciudad de Guatemala, es necesario conducirse por la carretera CA-9 hacia el Pacífico hasta llegar al kilómetro 169, cruzar a la izquierda en el municipio de Cuyotenango, tomando la ruta departamental RD SCH-07 que va hacia Tulate y en el kilómetro 210,2 cruzar a la derecha por la línea C-4 y a 12 kilómetros se encuentra la finca Santa Fe.

1.2.4. **Ecología**

En lo referente a las plantaciones forestales la finca cuenta con masas arbóreas de 8 especies forestales plantadas y que hacen de ésta, el mayor productor de bosques artificiales de la costa sur del país, con 400 hectáreas establecidas.

En la finca también se aplican los sistemas agroforestales, que son formas de uso y manejo de los recursos naturales en los cuales, especies forestales son utilizadas en asociación con cultivos agrícolas o con animales en un mismo terreno, maximizando con ello la producción.

Los bosques naturales tropicales de 40 hectáreas aproximadamente, están ubicados a la orilla de la corriente de agua que recorren la finca de norte a sur, cuentan con aproximadamente 60 especies de árboles de madera que van desde suaves (pumpujuche y ceiba) hasta extremadamente duras (huitzitzil y chíchique).

Las plantaciones frutales también son parte de la finca. Se encuentran sembradas 6 variedades de mango: tommy, pico de loro, amatillo, pashte, sell, e irwin en una extensión de 15 hectáreas aproximadamente. En esa misma área hay árboles de tamarindo y limón criollo. Existen 10 hectáreas adicionales de mango tommy, en el resto de la finca.

1.2.5. Climatología

Para la determinación de estos parámetros se tomaron los datos registrados en el 2009 por la estación meteorológica de Retalhuleu del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Esta se ubica de la siguiente manera: latitud: 14° 18' 42" norte, longitud: 91° 24' 52" este, altura sobre el nivel del mar: 205 metros.

Se debe considerar el cambio en la temperatura de 1 grado centígrado por cada 160 metros de diferencia en altura. En este caso, la diferencia en altura de la finca con respecto a la estación meteorológica es de 105 metros por lo que el cambio sería insignificante.

- Temperatura media anual: 28 grados centígrados.
- Temperatura máxima promedio: 35 grados centígrados.
- Temperatura mínima promedio: 22 grados centígrados.
- Temperatura máxima absoluta: 38 grados centígrados.
- Temperatura mínima absoluta: 17 grados centígrados.
- Humedad relativa media: 66 por ciento.
- Precipitación anual: 2654,9 mm distribuidos en los meses de mayo a noviembre.
- Nubosidad anual: 4 Octas o sea 4/8 de cielo cubierto, que pertenece a la categoría de parcialmente nubloso.
- Velocidad del viento: 3,9 Kilómetros/hora.
- Dirección del viento: la mayoría de los meses con una dirección sur-este.

1.2.6. Topografía

La topografía de la finca no es muy variable, predominando las aéreas planas, que van desde 0 a 10 grados y en menor porcentaje, inclinaciones desde 10 a 25 grados, la mayoría de éstas coinciden con las orillas de los ríos que atraviesan la finca. La topografía de las plantaciones de los árboles de Melina es plana, desde 0 a 5 grados.

1.2.7. Suelos

Son suelos profundos sobre materiales volcánicos en terrenos suavemente inclinados. El material madre es ceniza volcánica de color claro, el relieve es de, suavemente inclinado a ondulado, el drenaje interno es regular.

El suelo superficial es de color café oscuro con una textura franco arcilloso y consistencia friable con un espesor aproximado de 30 centímetros, el subsuelo es de color café de consistencia friable y textura arcilla micácea con espesor de 100 centímetros.

1.2.8. Hidrología

Pertenecen a la Vertiente del Pacífico, en la cuenca del río Samalá. Dentro de la finca se encuentran los siguientes ríos: Kaliboj, La Cotuza, El Pital, Samalá y la Laguna de la Chiqui.

1.3. Descripción de la especie en estudio

La descripción de la especie, abarca desde su distribución natural, familia a la que pertenece hasta sus características físicas y de crecimiento.

1.3.1. Gmelina arbórea Roxb

Es una especie nativa del suroeste asiático, la melina es hoy por hoy, una de las especies más promisorias para su uso en diferentes procesos industriales y en programas de reforestación; en los que por su rápido crecimiento es fuente segura de materia prima.

Su distribución natural abarca el nordeste de Pakistán hasta el sudeste de Camboya, India, Sri Lanka y el sur de China; en donde se conoce por los nombres comunes, *so-maeo, kumhar, sewan, gumadi, shiva o shivani*.

La Gmelina arbórea Roxb, pertenece a la familia de las Verbenaceae y se caracteriza por ser una especie de corta vida cuya edad no supera los 30 años. Alcanza hasta 30 metros de altura y 60 o rara vez los 100 centímetros de diámetro.

Su principal cualidad es su acelerado crecimiento hasta los cinco o seis años de haber sido plantada, ya que cuando alcanza la altura de los ejemplares adultos, su crecimiento se vuelve lento.

Su fuste es corto, de 50 a 80 centímetros de diámetro, su corteza es lisa o escamosa de color marrón pálido o grisáceo. En forma aislada, el árbol tiene fuste cónico, copa amplia, ramas abundantes, gruesas y bajas; en plantaciones densas el fuste es menos cónico y limpio. Sus hojas son simples, grandes, opuestas, tienen forma acorazonada y miden de 10 a 20 centímetros de largo y entre 5 y 18 centímetros de ancho.

Crece de manera natural entre el nivel del mar y los 900 metros, creciendo favorablemente en zonas de bosque seco tropical, bosque húmedo tropical o bosque muy húmedo tropical, generalmente entre los 24 y 35 grados. A partir de los 900 metros hasta los 1.500 metros crece en suelos livianos o pesados, de reacción ácida a alcalina, ricos en nutrientes y con buenas condiciones de drenaje y luz.

1.4. Selección y marcado de probetas

Se resumen los procesos de selección e identificación de los árboles y el de selección de probetas, como la determinación de la cantidad de las mismas, su identificación, corte, transporte y almacenaje.

1.4.1. Corte de los árboles

Con la ayuda del administrador de la finca y con el libro de registro de las plantaciones por parcelas, se determina la ubicación geográfica de éstas que contienen la especie en estudio con los años requeridos.

De este modo se determina el área de corte de los árboles de 10 años y 15 años. A continuación se describe el procedimiento del corte de los árboles:

- Observar la dirección de caída: algunos árboles ya tienen una dirección definida, debido a las inclinaciones que estos sufren. También hay que tomar en cuenta que no vayan a lastimar árboles de alrededor. Ver figura 2.
- Corte de la cuña: después de haber determinado la orientación, se corta una cuña para que el árbol por su propio peso, caiga. Ver figura 3.
- Corte de la base: se corta la base para lograr una superficie uniforme, limpia de defectos por la caída del árbol. Se protege con pintura a base de agua para que no sufra mucha pérdida de humedad. Ver figura 4.
- División de trozas. Las trozas se dividen cada 1,50 metros para ser transportadas con mayor facilidad. Ver figura 5.

- Corte final de las trozas: en cada árbol se cortaron cuatro trozas, debido a que los diámetros no son suficientemente grandes para estudiar el resto. Ver figura 6.
- Identificación de cada troza: cada troza se identifico correctamente, una marca en la cara de la troza y otra en la corteza. Ver figura 7.
- Registro de trozas: todas las trozas se identifican y registran para después llenar la boleta que proporciona el Instituto Nacional de Bosques (INAB). Este establece un control para el inventario forestal de la finca y además es necesario para poder transportar la madera. Ver figura 8.

Figura 2. **Identificación y orientación del árbol**



Fuente: finca Santa Fe, diciembre 2010.

Figura 3. **Corte de la cuña**



Fuente: finca Santa Fe, diciembre 2010.

Figura 4. **Corte de la base**



Fuente: finca Santa Fe, diciembre 2010.

Figura 5. **División de trozas**



Fuente: finca Santa Fe, diciembre 2010.

Figura 6. **Corte final de trozas**



Fuente: finca Santa Fe, diciembre 2010.

Figura 7. Identificación de trozas



Fuente: finca Santa Fe, diciembre 2010.

Figura 8. Registro de trozas



Fuente: finca Santa Fe, diciembre 2010.

1.4.2. Identificación y selección de especies

Se recorrió toda el área de corte y se seleccionaron 5 árboles de cada edad, tomando en cuenta los puntos altos, medios y bajos, así como también en donde los árboles recibían suficiente luz y donde no.

Luego se escogió al azar uno de cada parámetro anteriormente descrito, esto para tomar en consideración también el factor de crecimiento y disponibilidad de agua de cada árbol.

Los árboles fueron seleccionados según lo requiere la Norma ASTM D143. El mínimo que exige la Norma es de 5 árboles por especie, pero debido al elevado costo que implica a la Universidad de San Carlos de Guatemala la realización de los ensayos y el incremento considerable de trabajo en la sección donde se realizaron, se redujo de 5 a 3 árboles de cada edad. Siendo seleccionado los árboles de los puntos altos, medios y bajos.

Para un fácil manejo de las edades y su estudio se tomó la siguiente nomenclatura:

- Con la letra “G” y el numero “10” se describe la especie de Gmelina arbórea Roxb y la edad de 10 años.
- Con la letra “G” y el numero “15” se describe la especie de Gmelina arbórea Roxb y la edad de 15 años.
- Con las Iniciales “PA” describe los árboles localizados en un punto alto de la topografía.

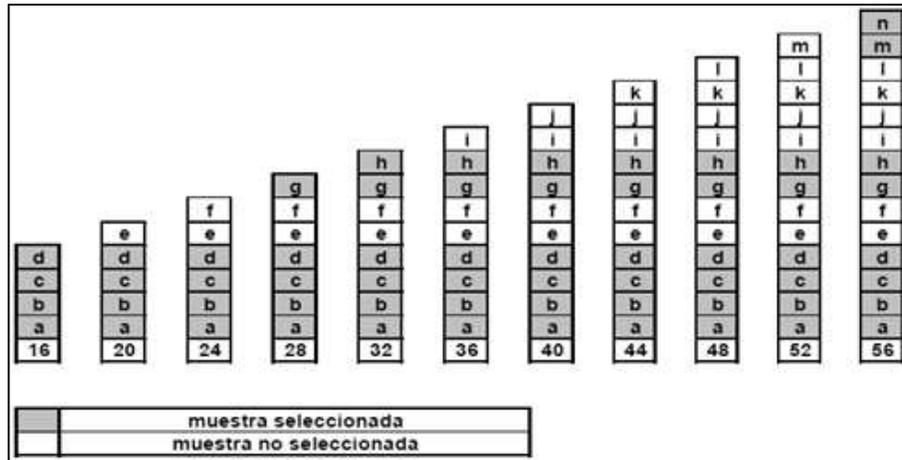
- Con las Iniciales “PM” describe los árboles localizados en un punto medio de la topografía.
- Con las Iniciales “PB” describe los árboles localizados en un punto bajo de la topografía.
- Con las Iniciales “PL” describe los árboles localizados en un punto con bastante luz.
- Con las Iniciales “PN” describe los árboles localizados en un punto con poca luz.

1.4.3. Selección y número de probetas

De los tres árboles escogidos por cada edad, fueron seleccionadas trozas a cada 1,50 metros según su longitud comercial, de tal forma que proporcionen información de la variación de sus propiedades respecto a su altura.

El fuste comercial se dividió en 4 secciones y se designó con letras minúsculas tales como “a”, “b”, “c” y “d”, cada letra representa una longitud de 1,50 metros todo esto es con el objetivo de determinar la altura del árbol de donde proviene cada troza seleccionada.

Figura 9. Selección de trozas por su altura



Fuente: elaboración propia.

1.4.4. Marcado y aserrado

Las trozas seleccionadas fueron marcadas sobre sus secciones transversales con respecto a los puntos cardinales. Esto es partiendo de la ubicación del norte astronómico, el cual debe ir marcado a lo largo de todo el árbol antes de ser seccionado para su fácil visualización.

La Norma ASTM D5536 establece que se tienen que hacer divisiones de 6 x 6 centímetros, por pares desde el centro o del corazón del árbol.

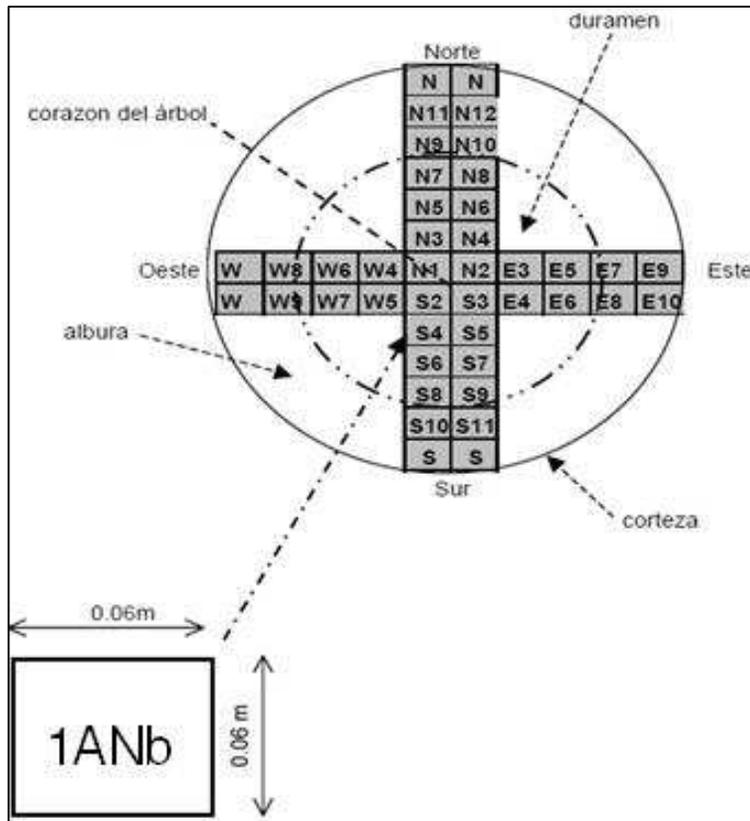
Se debe tomar como referencia los puntos cardinales en el marcaje. La nomenclatura de identificación será la siguiente:

- Un número arábigo que señala el número del árbol.

- Una letra que designa el número de años del mismo, la letras “A” para identificar los árboles de 10 años y “B” para los de 15 años.
- La posición que ocupa la barra dentro de la sección de la troza analizada. (N, S, E, W). Esto es partiendo del duramen hacia la albura. Aunque por ser diámetros pequeños casi todas las barras se obtuvieron del centro del árbol.
- Una letra minúscula que indica la altura de donde proviene la troza. (a, b, c, d). Ver figura 8.

Ejemplo: 1ANb significa que la barra proviene del árbol 1, con una edad de 10 años, que ocupa una posición norte en la sección transversal de la troza y se encuentra a una altura de 3 metros.

Figura 10. **Nomenclatura de barras**



Fuente: Rivas, Claudia. Joachin, Juan. Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Petén. p. 28.

1.4.5. **Corte y almacenaje**

Luego del marcado de las trozas, corresponde cortarlas para la obtención de las barras. El corte se realiza en un aserradero de la capital por lo que se transporta hacia el mismo. Ver figura 11.

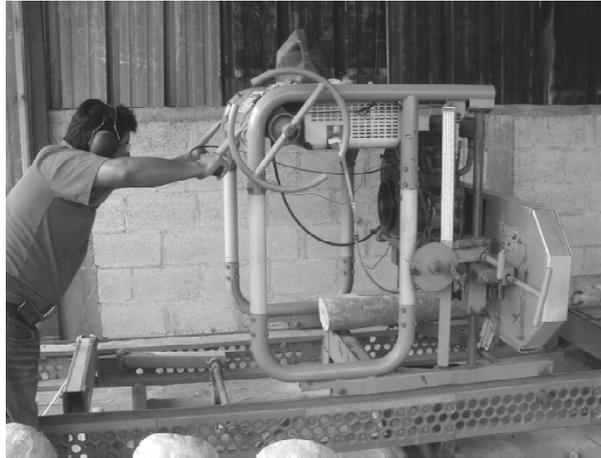
Figura 11. Transporte de trozas al aserradero



Fuente: Taller de Sección de Tecnología de la Madera. Universidad de San Carlos, enero 2011.

El corte de las trozas se realizó cuadrándolas, es decir, lograr el mayor rectángulo inscrito dentro de la sección de la troza, debido a que la mayoría de los árboles tenían deformaciones, además porque los diámetros varían respecto a la altura. Ya cuadradas, o sea, trozas uniformes, se realizaron cortes de 6 centímetros de altura, para posteriormente obtener las barras de 0,06 x 0,06 metros. Ver figura 12.

Figura 12. **Corte de las trozas en barras**



Fuente: aserradero MYMSA, enero 2011.

El almacenamiento previo a la obtención de las probetas, se realizó en un lugar techado dentro de las instalaciones de la sección de tecnología de la madera, donde estuviera la madera protegida del sol y de la lluvia. Las barras fueron apiladas y con cierta separación una de otra, ya que de esta manera circula más fácilmente el viento entre ellas. Ver figura 13.

Figura 13. **Almacenamiento de las barras**



Fuente: Taller de Sección de Tecnología de la Madera. Universidad de San Carlos, enero 2011.

1.5. Selección y disposición de ensayos

El presente estudio fue realizado con madera seca al aire. El número de ensayos se redujo en un 60 por ciento, como ya se había mencionado, debido a su alto costo que debía que absorber el CII además en la sección donde se realizaron los ensayos se hubiera incrementado la carga de trabajo enormemente.

A continuación se describe la cantidad de ensayos que se realizaron según las muestras que se obtuvieron, es decir, para los árboles de 10 y 15 años, en referencia a la Norma ASTM D143.

Tabla I. **Ensayos realizados**

Ensayo	No. De Trozas	No. De Probetas
Flexión estática	12	12
Compresión paralela a la fibra	12	12
Compresión perpendicular a la fibra	12	12
Corte paralelo a la fibra	12	12
Tensión paralela a la fibra	12	12
Tensión perpendicular a la fibra	12	12
Dureza	12	12
Clivaje	12	12
Peso específico y contracción volumétrica	12	12
Contenido de humedad	12	12
Total de ensayos		120

Fuente: elaboración propia.

1.6. Descripción de los ensayos

A continuación se describen los ensayos realizados. Éstos se realizan con probetas que tienen dimensiones normalizadas y específicas según el tipo de ensayo. Para cualquier tipo de prueba se debe tener un control adecuado de la humedad y temperatura.

La fabricación de las probetas, es un factor muy importante en los ensayos de las características físicas y propiedades mecánicas de la madera. Se tiene que tomar en cuenta la adecuada orientación de los anillos de crecimiento, la dirección de las fibras y la relación a los ejes de las piezas, pues de lo contrario se obtienen resultados incorrectos.

Las probetas para los ensayos, se elaboraron siempre en forma de que dos de sus lados opuestos tuvieran cara tangencial paralela a los anillos de crecimiento y las otras dos caras radiales.

A continuación se describe brevemente la fabricación las probetas para los ensayos mecánicos.

De las barras con 6 centímetros de altura y ancho variable, se tienen que realizar piezas de 6 x 6 centímetros, para luego convertirlas en piezas de 5 x 5 cm que se utilizaran para la fabricación del juego de probetas que se usarán para los ensayos físicos y mecánicos. Ver figura 14.

- Se tiene que tener un ángulo a escuadra en las barras para que posteriormente se puedan cortar y que todos los lados estén a escuadra. Esto procedimiento se realiza con la máquina Escuadradora.
- Luego se cortan las barras a las medidas de 0,06 x 0,06 metros. con una sierra de banco.
- Por último para que todos los lados estén uniformes y con las medidas correspondientes de 5 x 5 centímetros, que se utilizan para sacar el juego de probetas, se pasa por la máquina Planer que desgasta la superficie uniformemente hasta obtener las medidas deseadas.

Figura 14. **Fabricación de las probetas**



Fuente: Taller de Sección de Tecnología de la Madera. Universidad de San Carlos, marzo 2011.

1.6.1. Flexión estática

Flexibilidad es la propiedad que tienen algunas maderas de poder ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse.

En este tipo de esfuerzo, la parte superior trabaja a compresión y la inferior a tracción. Pero la madera resiste menos a compresión que a flexión, incluso el momento elástico o tracción es algo superior al de compresión.

La madera presenta especial aptitud para sobrepasar su límite de elasticidad por flexión sin que se produzca rotura inmediata, siendo ésta una propiedad que la hace útil para la curvatura.

La madera verde, joven, húmeda o calentada, es más flexible que la seca o vieja y tiene mayor límite de deformación. Los factores que influyen en la resistencia a la flexión son:

- **Inclinación de la fibra:** la disminución de resistencia a flexión y tracción se hace apreciable a partir de una inclinación de 1/25, mientras en compresión lo es a partir de 1/10, y en el corte apenas si tiene influencia.
- **Peso específico:** existe una relación lineal entre resistencia a la flexión y densidad. En los casos de no seguir ésta relación se deben a maderas con contenido de resinas elevado.
- **Contenido de humedad:** la resistencia a la flexión tiene un máximo para un grado de humedad del 5 por ciento, disminuyendo la resistencia desde dicha humedad hasta el PSF. La variación entre el 8 y el 15 por ciento se puede considerar lineal.
- **Temperatura:** la resistencia a la flexión decrece al aumentar la temperatura; éste crecimiento es mayor al aumentar la humedad.
- **Nudos y fendas:** la influencia de los nudos varía según su posición: es mayor cuanto mayor sea el momento flector; y tiene más influencia si está en la zona de tensión que en la de compresión.
- **Fatiga:** la resistencia a la flexión disminuye al aumentar el tiempo de carga, reduciéndose, al cabo de los años, en porcentajes del 50 al 75 por ciento respecto a la resistencia en un ensayo normal de flexión estática.
- **Dimensiones de las probetas:** el factor que más influye es la relación distancia entre apoyos con respecto al espesor de la probeta, L/H, ya que, al disminuir dicha relación aumentan las tensiones de corte longitudinal, por tanto, la resistencia a la flexión aumenta al aumentar dicha relación.

1.6.2. Compresión paralela a la fibra

Este esfuerzo no es más que la actuación de las fuerzas de compresión, en dirección a las fibras de la madera. La madera, en la dirección de las fibras, resiste menos a compresión que a tracción. Los factores que influyen en la resistencia a la compresión son:

- **Inclinación de fibras:** la posición de la fibra puede incidir al momento de someter la probeta a compresión.
- **Peso específico:** es inversamente proporcional a la compresión, puesto que más pesada sea la pieza, menos puede comprimirse.
- **Humedad:** mientras más humedad contenga la pieza, es más fácil aplicarle compresión, porque va llenando los espacios que contienen agua.
- **Nudos:** su influencia es menor que en la tracción.
- **Constitución química:** las maderas con mayor cantidad de lignina, como las tropicales, resisten mejor a la compresión.

1.6.3. Compresión perpendicular a la fibra

La compresión perpendicular a la fibra es muy inferior a la dirección paralela, los valores representan aproximadamente una cuarta parte de la resistencia en dirección paralela.

Este tipo de esfuerzo es característico de las zonas de apoyo de las vigas, donde se concentran toda la carga en pequeñas superficies que deben ser capaces de transmitir la reacción sin sufrir deformaciones importantes o aplastamiento.

1.6.4. Corte paralelo a la fibra

Es la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes cuando la dirección del esfuerzo es perpendicular a la dirección de las fibras. Si la fuerza es máxima en sentido perpendicular a las fibras será corte directo y si es mínima en sentido paralelo a las mismas será desgarramiento o hendibilidad.

Conocer la resistencia a este tipo de esfuerzo es de gran importancia, ya que siempre se encuentra presente en la madera usada en la construcción, principalmente en los ensambles y uniones con pernos, el efecto que se produce es el de desplazamiento entre dos capas contiguas de fibras, cuando a éstas se les aplican cargas en sentidos opuestos. Los factores que afectan la resistencia al corte son:

- **Peso específico:** la resistencia al corte aumenta directamente en forma lineal con el aumento del peso específico.
- **Humedad:** la disminución de la resistencia al corte con el aumento de la humedad es inferior que en otro tipo de esfuerzos, llegando, en muchos casos, a ser completamente nulo.

1.6.5. Tensión paralela a la fibra

La resistencia de la madera a la tensión, en el sentido paralelo a las fibras, es la de mayor magnitud con respecto a la resistencia a cualquier otro tipo de esfuerzo. Por esta característica, es difícil el diseño del ensayo ya que la pieza de madera a probar en este caso, cede más pronto por cortante o cizallamiento dada su menor resistencia.

La madera es un material muy indicado para trabajar a tensión (en la dirección de las fibras), viéndose limitado su uso únicamente por la dificultad de transmitir estos esfuerzos a las piezas. Esto significa que en las piezas sometidas a tensión los problemas aparecerán en las uniones.

Por otra parte, los defectos de la madera, tales como nudos, inclinación de fibras, etc., afectan mucho a este tipo de esfuerzo, disminuyendo su resistencia en una proporción mucho mayor que en los esfuerzos de compresión. Los factores que afectan a la resistencia a la tensión son:

- **Humedad:** la resistencia a la tracción paralela a la fibra aumenta de forma más o menos lineal desde el punto de saturación de las fibras hasta el 10 por ciento, con un aumento del 3 por ciento por cada disminución de humedad del 1 por ciento. Entre el 8 y el 10 por ciento de humedad existe un máximo, a partir del cual disminuye ligeramente.
- **Temperatura:** el efecto de la temperatura es menor en la tensión paralela, que en otros tipos de esfuerzos.

- Nudos: los nudos afectan enormemente a este esfuerzo, ya que la desviación de fibras alrededor del nudo tiene gran influencia en la resistencia. Así, pequeños nudos, que reducirían la resistencia a compresión en un 10 por ciento, lo haría en el 50 por ciento en el caso de tensión. Los nudos dan lugar, también, a una distribución irregular de las tensiones.
- Inclinação de la fibra: se puede decir que la resistencia a tensión se ve mucho más afectada que la resistencia a la compresión con igual inclinación de las fibras. Un ángulo de 15 grados reduce la resistencia a la tensión a la mitad y si el ángulo es de 30 grados la resistencia es 1/5 de la que tendría si la dirección del esfuerzo fuese paralela a la fibra.

1.6.6. Tensión perpendicular a la fibra

Quando se habla de tensión perpendicular a la fibra, sucede todo lo contrario de la tensión paralela, es decir, que a éste esfuerzo la madera presenta su menor resistencia (de 20 a 30 veces menor), ya que aquí se produce una separación de las fibras, mientras que en la tensión paralela se requiere el rompimiento de ellas.

1.6.7. Dureza

Es la dificultad que pone la madera de ser penetrada por otros cuerpos tale como clavos, tornillos, etc. A ser trabajada por ejemplo con cepillo, sierra, formón, etc.

La resistencia que opone al desgaste, a dejarse rayar, a la compresión o al choque. Es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura.

La dureza depende de la especie, de la zona del tronco y de la edad. En general suele coincidir que las más duras son las más pesadas. El duramen es más duro que la albura. Las maderas verdes son más blandas que las secas. Las maderas fibrosas son más duras. Las maderas más ricas en vasos son más blandas. Las maderas más duras se pulen mejor.

1.6.8. Clivaje

Es el esfuerzo necesario para aprender a cortar la madera en dos partes a lo largo de la fibra, ya sea en sentido radial o tangencial.

La carga que provoca la rotura está relacionada con el ancho de la probeta, dado que la hendidura se extiende progresivamente en el sentido de la fibra, el esfuerzo es prácticamente independiente de la longitud de la probeta, pero la resistencia depende del brazo de la palanca, según el cual se aplica el esfuerzo. El valor de la resistencia a la raja es menor en las coníferas que en las frondosas y dentro de éstas serán más resistentes las de estructura más compleja

Cuando se van a realizar uniones de piezas de madera por medio de tornillos o clavos nos interesa que la madera que vamos a usar tenga una gran resistencia a la hienda.

1.6.9. Peso específico y contracción volumétrica

Es la relación existente entre el peso de la madera y su volumen aparente, tomando en cuenta el mismo grado de humedad.

La determinación de este valor es una referencia útil de calidad, puede ayudar en la selección y clasificación de maderas, permite estimar su resistencia, habilidad para sostener clavos y facilidad de trabajo en las máquinas; es también índice de la resistencia a diversos usos.

El peso específico de la madera, en el árbol, varía en forma decreciente desde el cuello de la raíz hasta la cima; en los coníferos puede variar, además, por la presencia de formaciones que se localizan en algunas secciones del fuste producidas por ciertas descendencias o por el clima, que incrementan su peso específico.

En regiones con un suelo fértil, bajo un clima suave y húmedo, que origina un crecimiento lujurioso, una especie puede presentar el leño con menor peso específico que el habitual; por el contrario, en terrenos pobres, creciendo en climas más áridos, los anillos resultan amplios, los elementos más pequeños y como consecuencia, el peso específico resulta más elevado.

Densidad básica: esta se define como la relación entre el peso seco al horno y el volumen verde de la madera; no obstante la diferencia suele emplearse como sinónimo el término peso específico, que es la relación entre el peso seco de la madera y el peso de un volumen igual de agua.

1.6.10. Contenido de humedad

Cuando el árbol es cortado, la madera empieza a perder humedad debido a la diferencia que existe entre la que contiene la madera y la que existe en el medio ambiente. Mientras esto sucede, las paredes capilares continúan todavía saturadas hasta que toda el agua libre se ha evaporado.

La humedad en la madera como ya se ha dicho, se expresa en porcentaje de su peso secada al horno, pero su determinación también puede hacerse por medio de medidores eléctricos, que aunque su determinación es más rápida, es menos precisa que el método tradicional de secado al horno. Es importante el grado o porcentaje de humedad que contenga la madera, ya que de ella depende la exactitud en los resultados de los ensayos físicos y mecánicos.

Hay que tomar en cuenta que el decremento de la humedad, le da a la madera un incremento en su resistencia, y el efecto de la humedad no es igual para todas las propiedades.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. Desarrollo de los ensayos

Para este estudio se utilizó madera seca al aire y se seleccionaron las piezas que no tenían defectos ni alteraciones, como lo son los nudos, grietas, ataque de hongos o de insectos, etc. Sin embargo, no todas estaban perfectas por lo que se permitió el uso de piezas con pequeños nudos o cualquier defecto similar, pero en pequeña escala, siempre y cuando estuvieran localizados en puntos en donde no fueran a afectar o alterar el valor del ensayo.

Como se había mencionado anteriormente, el número de ensayos se redujo en un 60 por ciento debido al costo que genera al CII, además del incremento excesivo de trabajo en la sección por la realización de los ensayos.

Debido a lo anterior, para la realización de las pruebas mecánicas, se seleccionaron las probetas de las barras que provienen de las trozas de la base y de la copa, para poder así, tener referencia de la variación de las propiedades con respecto a la altura. Lo anterior para los árboles de 10 y 15 años.

Según la Norma ASTM D143 para todos los ensayos en donde se efectuaron mediciones de peso y contenido de humedad, la precisión debió ser no menos del 0,2 por ciento.

Cuando se efectuaron medidas de dimensiones la precisión es del 0,3 por ciento exceptuando los casos en los cuales las medidas deban ser hechas a 0,2 milímetros.

Y para las probetas de contracción radial y tangencial, que deben efectuarse con una precisión de 0,02 milímetros.

La velocidad de la máquina de ensayos usada, que es una Baldwin de capacidad 60 000 Kilogramos, no deberá variar más de un 25 por ciento de aquella determinada para un ensayo dado. Si la velocidad estipulada no puede ser obtenida, hay que especificar la velocidad utilizada en el ensayo.

2.1.1. Flexión estática

Las dimensiones de las probetas son 2" x 2" x 30" (5 X 5 X 76 centímetros). Las medidas se efectuaron con la precisión anteriormente indicada del 0,3 por ciento. Para esta probeta se toma especial atención en los planos de los cortes, estos tienen que quedar paralelos y formando ángulo recto con las caras longitudinales (que estén a escuadra).

2.1.1.1. Equipo

Máquina universal con accesorios especiales para ensayo de flexión en madera y deflectómetro.

2.1.1.2. Preparación

Se debe obtener las dimensiones reales de la muestra así como también su peso. Estimar el número de anillos por pulgada y hacer un esquema de la muestra en perspectiva, indicando defectos y dirección de los anillos externos.

Debe determinarse el límite elástico en fibra externa, el esfuerzo de ruptura, el módulo de elasticidad, tipo de falla y corte.

2.1.1.3. Procedimiento

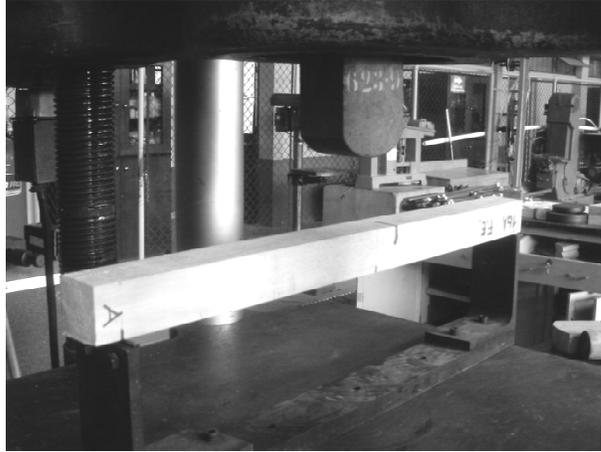
Marcar el centro y los extremos de la luz de 70 centímetros. Luego ubicar clavos de un lado de la pieza en los extremos y en el centro para colocar el deflectómetro. Situar la pieza sobre los apoyos de modo que la superficie tangencial más cerca de la médula esté hacia arriba. Colocar el deflectómetro.

Debe ajustarse el deflectómetro y la máquina a cero. La carga se aplica continuamente a la probeta con una velocidad de la cabeza móvil de la prensa hidráulica 181,4 kilogramos por minuto, tomando lecturas del deflectómetro cada 50 kilogramo de carga.

Los valores leídos se transforman a milímetros (multiplicando la lectura por la aproximación del aparato). A continuación se dibuja por cada prueba una gráfica de carga contra deformación y se anotan todos los detalles que sean considerados importantes, así como el esquema de la falla.

Asimismo determinar el contenido de humedad por cada prueba, para cada probeta ensayada se debe cortar un segmento a cada una de ellas, pesarlo antes de meterlo al horno por 24 horas a una temperatura de 105 grados centígrados para luego pesarlo seco y así anotar el porcentaje de humedad obtenido de cada probeta, las dimensiones de dicho segmento son de 2,5 centímetros de longitud de la sección normal de la probeta, y deberá ser tomada de la parte cercana a la falla.

Figura 15. **Ensayo de flexión estática**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, abril 2011.

2.1.1.4. Cálculo de resultados

Determinar la carga al límite elástico (viene dado éste por el punto donde una tangente trazada a la carga se separa de ésta). También obtener el esfuerzo máximo o módulo de rotura y el módulo de elasticidad a flexión.

Para el cálculo del esfuerzo máximo, se hace uso de una fórmula que sólo es válida en el rango elástico del material. A continuación un ejemplo y los resultados finales se presentan en el capítulo 3.

$$F_b = \frac{M}{s} = \frac{3 P L}{2 b h^2} \quad F_b = \frac{3 \cdot 625 \cdot 70}{2 \cdot 4,97 \cdot 5,01^2} = 526,06$$

Donde:

F_b = Esfuerzo último de flexión (kg/cm^2)

P = Carga última = 625,00(kg)

L = Longitud libre =70,00(cm)

b = Ancho = 4,97 cm (aprox. 5 cm)

h = Largo = 5,01 cm (aprox. 5 cm)

El módulo de elasticidad a flexión se determina por medio de la siguiente fórmula,

$$E = \frac{P L^3}{48 \varepsilon I} \quad E = \frac{625 \cdot 70^3}{48 \cdot 4 \cdot (1/12 \cdot 4,97 \cdot 5,01^3)} = 42876,03$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad a flexión (Kg/cm^2)

P = Cualquier carga abajo del límite elástico = 625,00(kg)

ε = Deformación para la carga $P = 4,00$ (cm)

b = Ancho = 4,97 cm (aprox. 5 cm)

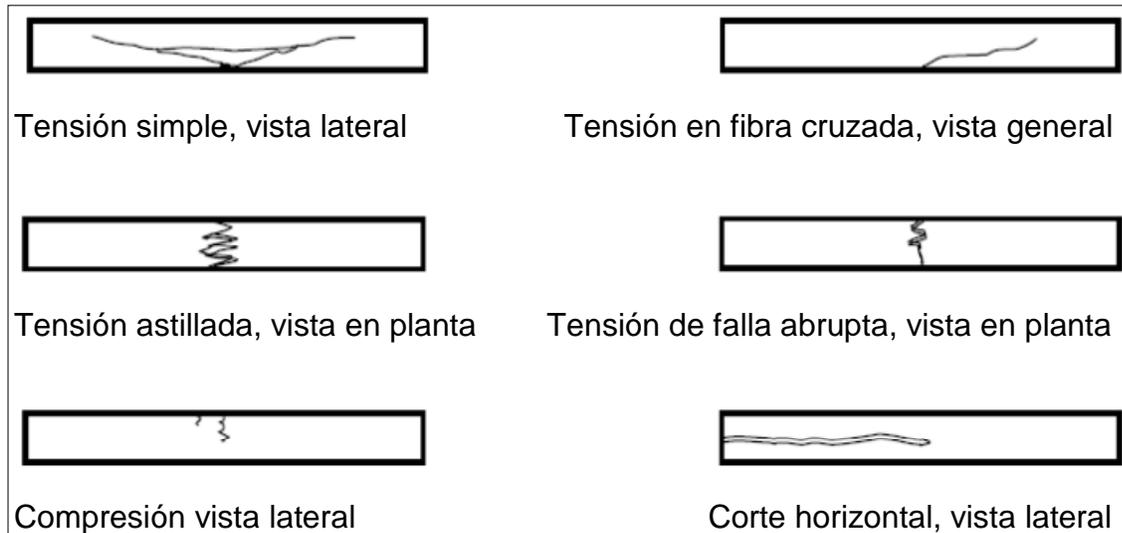
h = Largo = 5,01 cm (aprox. 5 cm)

I = Momento de inercia ($1/12bd^3$)

También el módulo de elasticidad se obtiene gráficamente, considerando que es la pendiente de la porción recta de la curva de esfuerzo contra deformación unitaria.

A continuación se describe los tipos de falla que se dan en la prueba de flexión estática:

Figura 16. **Fallas en el ensayo de flexión estática**



Fuente: elaboración propia.

2.1.2. **Compresión paralela a la fibra**

Las dimensiones de las probetas son de 5 x 5 x 20 centímetros. Se debe tener cuidado en la elaboración de la probeta, ya que si el corte de la misma no está recto, en las caras de las secciones es decir que formen un ángulo recto con las caras longitudinales, colaboraría a que la carga no vaya centrada y que al aplicársele la misma, dicha probeta se ladeará, perjudicando así, en obtener resultados incorrectos.

2.1.2.1. **Equipo**

Máquina universal, la cual es semejante a una prensa con la que es posible someter diversos materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. Indicador marca Ames para medir deformación.

2.1.2.2. Preparación

Se debe determinar las dimensiones reales de la muestra así como también su peso. También se debe estimar el número de anillos por pulgada y hacer un esquema de la muestra en perspectiva, indicando defectos y dirección de los anillos externos.

Debe determinarse el límite elástico proporcional, el esfuerzo de ruptura, el módulo de elasticidad, tipo de falla y corte.

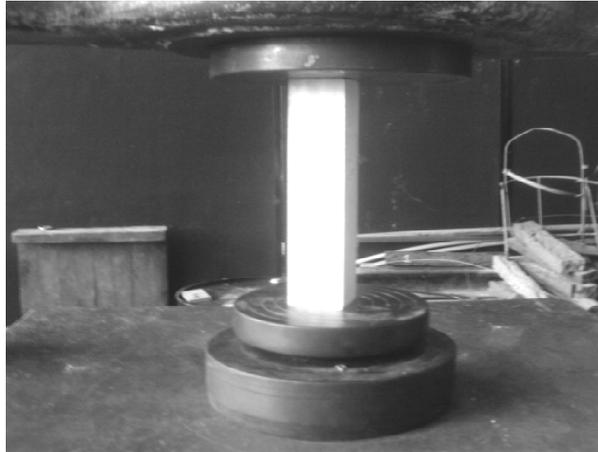
2.1.2.3. Procedimiento

La probeta debe estar centrada en la base de la máquina y totalmente horizontal a las caras, esto para evitar cualquier descentralización o desviación de la carga en la probeta.

La carga se aplica en forma continua de 200 kilogramos más o menos a una velocidad constante la cabeza móvil de la prensa hidráulica de 0,003 centímetros por minuto, tomando deformaciones con el compresómetro.

Se determinó la carga y la deflexión para la falla. Sobre una hoja de datos se dibuja la falla, se anotan sus características y tipo de falla. Obtener el contenido de humedad en la probeta por medio de una muestra tomada cerca de la falla.

Figura 17. **Ensayo de compresión paralela a la fibra**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, abril 2011.

2.1.2.4. Cálculo de resultados

Con los resultados de la prueba se determina el esfuerzo de compresión paralelo último utilizando la siguiente fórmula. A continuación un ejemplo y los resultados finales se presentan en el capítulo 3.

$$F_c = \frac{P}{A} F_c = \frac{6250}{25,1} = 249,00$$

Donde:

F_c = Esfuerzo de compresión paralela último (kg/cm²).

P = Carga última = 6250 (kg)

A = Área de compresión = 25,1 cm²(aprox. 25 cm²)

El módulo de elasticidad a compresión paralela se puede calcular por medio de la fórmula.

$$E = \frac{P L}{A \varepsilon} \quad E = \frac{6250,00 * 15,00}{25,10 * 2,54} = 1470,50$$

Donde:

P = Cualquier carga abajo del límite elástico = 6250,00 (kg)

L = Longitud efectiva (por lo regular 15 cm)

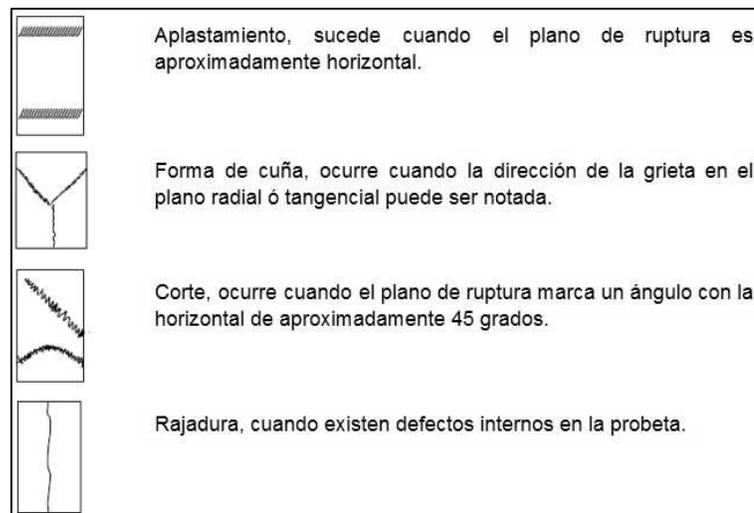
A = Área de compresión = 25,10 cm² (25 cm² aproximadamente)

ε = Deformación para la carga P = 2,54 (cm)

También el módulo de elasticidad a compresión paralela se obtiene gráficamente considerando que es la pendiente de la porción recta de la curva de esfuerzo contra deformación unitaria.

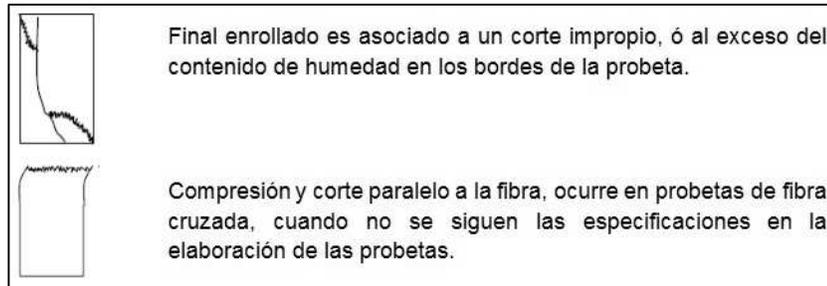
A continuación se describen los tipos de fallas que se dan en el ensayo de compresión paralela a la fibra.

Figura 18. **Fallas en el ensayo de compresión paralela 1**



Fuente: elaboración propia, con el programa Paint.

Figura 19. **Fallas en el ensayo de compresión paralela 2**



Fuente: elaboración propia con el programa Paint.

2.1.3. Compresión perpendicular a la fibra

Las dimensiones de las probetas son de 5 x 5 x 15 centímetros, y los anillos de crecimiento deben estar bien definidos en las caras laterales. La carga se aplica a través de una plancha metálica de 5 centímetros de ancho, colocada sobre una de las caras longitudinales y equidistantes de los extremos.

2.1.3.1. Equipo

Al igual que en e ensayo de compresión paralela se utiliza la máquina universal, adicionalmente una plancha o placa metálica de 5 centímetros de ancho.

2.1.3.2. Preparación

Se debe determinar las dimensiones reales de la muestra así como también su peso. También se debe estimar el número de anillos por pulgada y hacer un esquema de la muestra en perspectiva, indicando defectos y dirección de los anillos externos.

Debe determinarse el límite elástico en fibra externa, el esfuerzo de ruptura, el módulo de elasticidad, tipo de falla y corte.

2.1.3.3. Procedimiento

La carga es aplicada a la probeta por medio de una placa de apoyo, metálica, (área de 25 centímetros cuadrados) y usando un dispositivo especial para la prueba. La carga debe aplicarse en forma continúa durante el ensayo y a una velocidad de 0,305 milímetros por minuto de la cabeza móvil de la prensa hidráulica.

Figura 20. **Ensayo de compresión perpendicular a la fibra**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, abril 2011.

2.1.3.4. Cálculo de resultados

Se mide la carga que produce una deformación de 2,5 milímetros en la probeta y se detiene la prueba. Esta se toma como la carga máxima, a menos que la falla ocurriera antes de esa deformación. El máximo esfuerzo se toma como la siguiente fórmula. A continuación un ejemplo y los resultados finales se presentan en el capítulo 3.

$$F_c = \frac{P}{A} F_c = \frac{2\,020,00}{25,15} = 80,32$$

Donde:

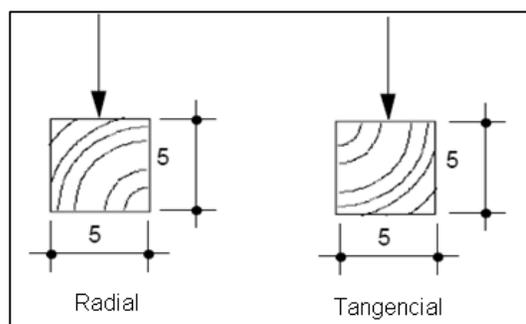
F_c = esfuerzo máximo a compresión perpendicular(kg/cm²)

P = carga máxima= 2 020,00 (kg)

A = área de esfuerzo = 25,15 cm²(25 cm²aproximadamente)

Inmediatamente después de la prueba se corta una sección de unos 2,5 cm, de longitud, adyacente a la parte donde se aplicó la carga, para determinar el contenido de humedad.

Figura 21. Sentido de las fibras

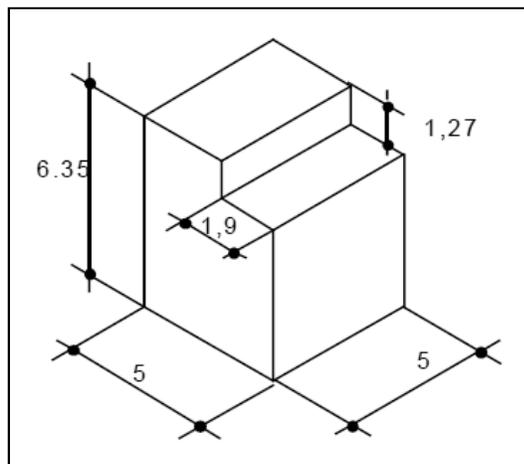


Fuente: elaboración propia con el programa Paint.

2.1.4. Corte paralelo a la fibra

Las dimensiones y la forma de las probetas para el ensayo son de 2" x 2" x 2 ½" (5 x 5 x 6,3 centímetros), a modo de producir la falla sobre la cara de 2" x 2" (5 x 5 centímetros). Las dimensiones se pueden observar en la figura 19, las medidas son en centímetros.

Figura 22. Probeta del ensayo de corte



Fuente: Rivas, Claudia. Joachin, Juan. Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Petén. p. 45.

2.1.4.1. Equipo

Este ensayo se realiza con una máquina universal, y con accesorio o dispositivo diseñado especialmente para provocar el corte en la probeta a ensayar.

2.1.4.2. Preparación

Se debe determinar las dimensiones reales de la muestra así como también su peso. También se debe estimar el número de anillos por pulgada y hacer un esquema de la muestra en perspectiva, indicando defectos y dirección de los anillos externos. Debe determinarse el esfuerzo máximo de corte, tipo de falla y corte.

2.1.4.3. Procedimiento

La carga se aplica continuamente a la probeta con una velocidad constante de la cabeza móvil de 0,06 centímetros por minuto. La probeta se introduce dentro de un dispositivo diseñado especialmente para provocar el corte. Este tiene un estribo de un octavo de pulgada (3 milímetros), medidos entre la orilla anterior a las superficies soportantes y el plano a lo largo del cual se desarrollará la falla. La carga será aplicada a modo que una parte de la muestra esté sostenida sobre ambos extremos, mientras que la otra no tiene soporte y que por lo tanto sea obligada a deslizarse en el plano de corte, por el efecto de la misma carga.

Se lee la carga para la cual la probeta es fallada, se toma una muestra de la pieza para determinar el contenido de humedad y se dibuja en una hoja de datos la forma de la falla.

Figura 23. **Ensayo de corte paralelo a la fibra**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, abril 2011.

2.1.4.4. Cálculo de resultados

El esfuerzo a la falla se calcula con la siguiente fórmula. A continuación un ejemplo y los resultados finales se presentan en el capítulo 3.

$$F_v = \frac{P}{A} \quad F_v = \frac{1825}{25} = 73,00$$

Donde:

F_v = esfuerzo de corte (kg/cm^2)

P = carga máxima (kg)

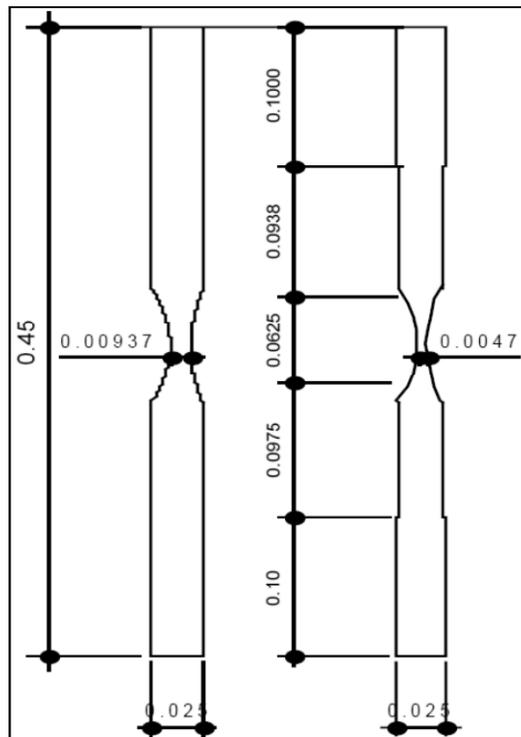
A = área de corte (aproximadamente 25 cm^2)

2.1.5. Tensión paralela a la fibra

Las dimensiones y la forma de las probetas para este ensayo se muestran en la figura 20, habrá que tener especial cuidado en la elaboración de esta probeta, ya que su parte crítica, central, es muy complicada.

La pieza deberá estar orientada de tal manera que la dirección de los anillos de crecimiento en la sección crítica sean perpendiculares a la dirección de su menor área transversal. Esta perpendicularidad podrá ser verificada en las puntas de las muestras

Figura 24. **Probeta del ensayo de tensión paralela a la fibra**



Fuente: Rivas, Claudia. Joachin, Juan. Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Petén. p. 50.

2.1.5.1. Equipo

Para este ensayo es requerida la máquina universal y dos mordazas a las cuales se fija la probeta, estas son especiales para el ensayo de tensión paralela a la fibra.

2.1.5.2. Preparación

Se debe determinar las dimensiones reales de la muestra así como también su peso. También se debe estimar el número de anillos por pulgada y hacer un esquema de la muestra perspectiva, indicando defectos y dirección de los anillos externos. Se debe de determinar el esfuerzo máximo de tensión.

2.1.5.3. Procedimiento

La probeta se fija en las mordazas especiales para este ensayo, cada una de las partes de la mordaza está por transmitir carga en cuanto el operador de la máquina la aplique, estas mordazas detienen la probeta en la parte cuadrada de la misma, exactamente, en donde principia a originarse la parte crítica de la probeta. En el centro de la misma deberá colocarse el extensómetro para medir la deformación o alargamiento de la pieza.

Se miden deformaciones, mediante un extensómetro especial para la prueba, la carga se debe aplicar continua y uniformemente en todo el ensayo a una velocidad de más o menos de 1 milímetro por minuto, el intervalo de aplicación de carga depende prácticamente, de la especie a analizar, de manera que habrá que romper, anticipadamente, unas probetas para conocer su carga última y así, establecer el intervalo de carga a aplicar.

Figura 25. **Ensayo de tensión paralela a la fibra**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, abril 2011.

2.1.5.4. Cálculo de resultados

Se determinan entonces la carga última y la deformación máxima. Se debe trazar la curva de carga contra deformación y determinar el punto del límite elástico (por medio de una tangente trazada a la curva desde el origen). El esfuerzo de tensión paralelo se calcula como sigue. A continuación un ejemplo y los resultados finales se presentan en el capítulo 3.

$$F_t = \frac{P}{A} \quad F_t = \frac{610,00}{0,44} = 1\ 386,04$$

Donde:

F_t = esfuerzo de tensión paralela (kg/cm^2)

P = carga de ruptura (kg)

A = área de corte (aproximadamente $0,4536 \text{ cm}^2$)

Y el módulo de elasticidad a tensión paralela se puede calcular de la siguiente manera:

$$E = \frac{P L}{A \varepsilon}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad a tensión paralela

P = Cualquier carga abajo del límite elástico

L = Longitud efectiva (por lo regular 5 cm)

A = Área de esfuerzo (0,4536 cm² aproximadamente)

ε = Deformación para la carga P

La lectura en el deformómetro, multiplicada por la aproximación del aparato, da la deformación en mm. Por lo regular la aproximación de estos dispositivos es, para:

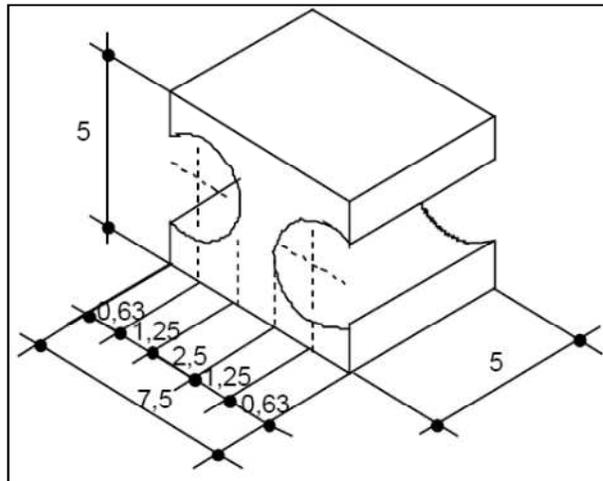
- Deflectómetros en la prueba de flexión estática. 0,01 mm/mm.
- Deformómetros en la prueba de compresión paralela 0,01 mm/mm.
- Deformómetros para la prueba de tensión paralela 0,002 mm/mm.

2.1.6. Tensión perpendicular a la fibra

El propósito de este ensayo es aplicar carga por medio de la máquina a las quijadas, está a su vez, provoca una tensión a la probeta; dicha tensión deberá ser en dirección perpendicular a la fibra de la pieza, con el fin de obtener su resistencia última para esta carga. Las dimensiones y la forma de la probeta se presentan en la figura 23 y las medidas están en centímetros.

Se debe tener especial cuidado en la elaboración de esta probeta, ya que su parte crítica, central, es muy complicada.

Figura 26. **Probeta del ensayo de tensión perpendicular a la fibra**



Fuente: Rivas, Claudia. Joachin, Juan. Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Petén. p. 54.

2.1.6.1. Equipo

Este ensayo requiere de la máquina universal de ensayos y dos mordazas especiales para ensayos de tensión perpendicular a la fibra a las cuales se fija la probeta a ensayar.

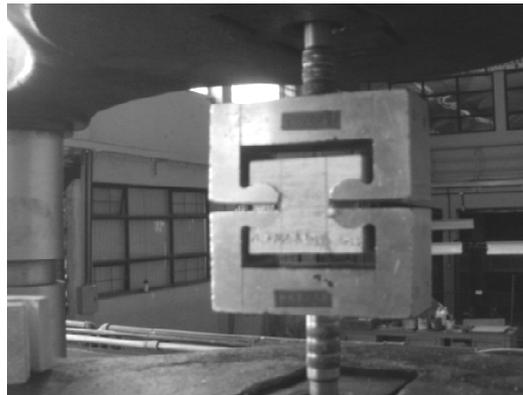
2.1.6.2. Preparación

Se debe determinar las dimensiones reales de la muestra así como también su peso. También se debe estimar el número de anillos por pulgada y hacer un esquema de la muestra perspectiva, indicando defectos y dirección de los anillos externos. Se determina el esfuerzo máximo a tensión.

2.1.6.3. Procedimiento

Colocar la pieza en las mordazas, centrar y poner a cero la escala. La carga será aplicada a una velocidad constante de 2.5 milímetros por minuto. Luego de tener la carga última o de ruptura, como en los casos anteriores, se toma un segmento de la pieza ensayada y se determina su humedad.

Figura 27. **Ensayo de tensión perpendicular a la fibra**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, abril 2011.

2.1.6.4. Cálculo de resultados

El esfuerzo de tensión perpendicular a la fibra (F_u), está dado por la siguiente expresión. A continuación un ejemplo y los resultados finales se presentan en el capítulo 3.

$$F_u = \frac{P}{A} \quad F_u = \frac{600,00}{12,57} = 47,72$$

Donde:

F_u = esfuerzo máximo a tensión perpendicular (kg/cm^2)

P = carga de ruptura (kg)

A = área de la carga frontal de la probeta (cm^2)

2.1.7. Dureza

Las dimensiones de las probetas para este ensayos son de 2" x 2" x 6" (5 x 5 x 15 centímetros). Debido a que esta propiedad depende de la cohesión de las fibras, las probetas se ensayan de manera radial como tangencialmente.

2.1.7.1. Equipo

Para realizar este ensayo se utiliza una máquina universal de 60 000 kilogramos, un apoyo articulado para que se coloco la probeta y un accesorio especial para penetración que se ajusta a la maquina universal.

2.1.7.2. Preparación

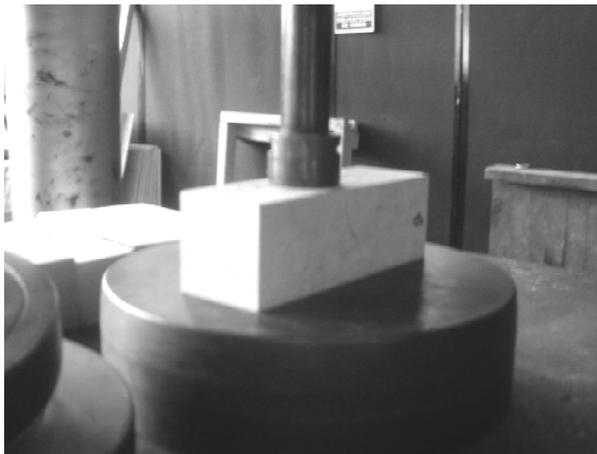
Hay que determinar las dimensiones reales de la muestra así como su peso. También debe estimarse el número de anillos por pulgada y hacer un esquema de la muestra perspectiva, indicando defectos y dirección de los anillos externos. Se obtiene la máxima penetración.

2.1.7.3. Procedimiento

Coloca la pieza con la cara radial hacia arriba y situar la bola de penetración (esfera de acero cuyo diámetro es de 1,13 centímetro). Luego aplicar la carga hasta obtener la penetración de la semiesfera y leer el dato.

La velocidad de aplicación de la carga se considera como de 6 milímetro por minuto. Se efectúan penetraciones en la cara radial, en la cara tangencial y en cada extremo o borde de la probeta.

Figura 28. **Ensayo de dureza**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, abril 2011.

2.1.7.4. Cálculo de resultados

La dureza o penetración promedio está dada por la siguiente expresión.

$$D_p = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

Donde:

D_p = Dureza o penetración promedio

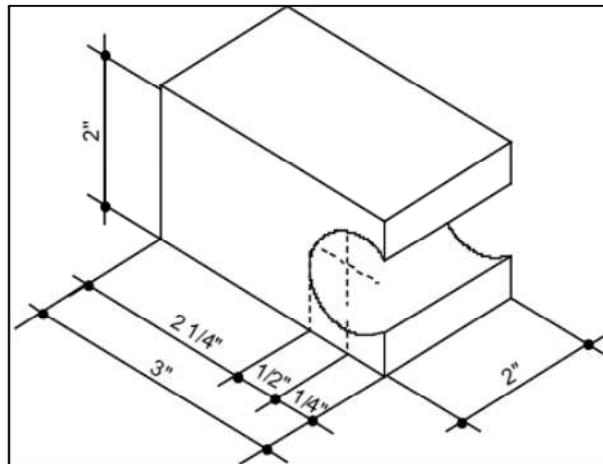
D_1 = Dureza obtenida en la primera penetración

D_2 = Dureza obtenida en la segunda penetración

2.1.8. Clivaje

La forma y las dimensiones de las probetas se muestran en la figura 26. Esta diseñada para cuando se le aplique una fuerza, esta se desgarre o corte en dos partes iguales en dirección paralela a las fibras.

Figura 29. **Probeta del ensayo de clivaje**



Fuente: Rivas, Claudia. Joachin, Juan. Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Petén. p. 60.

2.1.8.1. Equipo

Utilizar la máquina universal, empleando unas mordazas especiales para clivaje, estas se acomodan en la probeta, ya que poseen media circunferencia y producen que la falla se dé por desgarre.

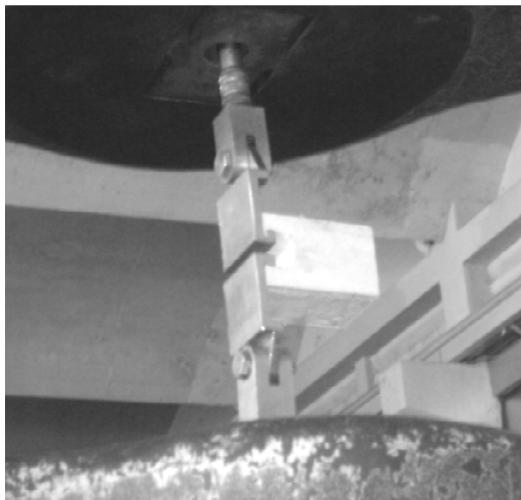
2.1.8.2. Preparación

Se debe determinar las dimensiones reales de la muestra así como también su peso. Estimar el número de anillos por pulgada y hacer un esquema de la muestra perspectiva, indicando defectos y dirección de los anillos externos. Obtener el esfuerzo máximo de clivaje o desgarramiento.

2.1.8.3. Procedimiento

Debe colocarse las mordazas especiales, acomodando la pieza centrada y nivelada. Aplicar la carga y mantenerla en 0,25 centímetros por minuto. La probeta falla por desgarre y se lee la carga máxima para cuando esto ocurre. Las mordazas se acomodan en la probeta debido a que poseen media circunferencia, macho que entra en la parte abierta de la probeta.

Figura 30. **Ensayo de clivaje**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, abril 2011.

2.1.8.4. Cálculo de resultados

Se calcula el esfuerzo de clivaje de la siguiente manera. A continuación un ejemplo y los resultados finales se presentan en el capítulo 3.

$$\text{Clivaje} = \frac{\text{Carga máxima (Kg)}}{\text{Longitud esforzada (cm)}} = \frac{200,00}{2,65} = 75,47$$

Donde: clivaje es el esfuerzo necesario para hender la madera a lo largo de la fibra.

2.1.9. Peso específico y contracción volumétrica

Las dimensiones de estas son de 2" x 2" x 6" (5 x 5 x 15 centímetros). Para obtener el peso específico y la contracción volumétrica se hace uso de una misma probeta. Se hacen estas determinaciones con un contenido de humedad del 12 por ciento y en condiciones de secado al horno.

Cuando está verde se pesa la probeta y el volumen se determina por el método de la inmersión. Se apila esta probeta verde luego de la inmersión y se ventila en un cuarto con un ambiente acondicionado hasta que se llegue a una humedad uniforme de aproximadamente el 12 por ciento. Cuando esto sucede se mide la probeta y se determina el volumen de nuevo por el método de la inmersión.

Cuando se ha secado al horno se pesan las probetas y mientras estén tibias se sumergen en un baño de parafina caliente, teniendo el cuidado de sacarlas rápidamente para asegurarse un recubrimiento delgado. Luego se determina el volumen de la probeta cubierta por el método de la inmersión.

$$\text{Peso específico aparente verde} = \frac{(\text{Peso verde} / \text{Volumen verde})}{\text{Volumen verde}}$$

$$\text{Peso específico aparente seco} = \frac{(\text{Peso seco} / \text{Volumen verde})}{\text{Volumen verde}}$$

$$\text{Contracción volumétrica} = \frac{(\text{Vol. Verde} - \text{Vol. seco}) \times 100}{\text{Volumen verde}}$$

La contracción volumétrica consiste en que la madera absorba o pierda agua, excepto en el PSF (punto de saturación de la fibra), ya que en este punto y arriba de este la madera no sufre contracciones.

De acuerdo a su densidad, la madera se puede clasificar de la siguiente manera:

- Densidad < 0,3 = madera muy liviana.
- Densidad entre 0,3 y 0,4 = madera liviana.
- Densidad entre 0,4 y 0,5 = madera moderadamente pesada.
- Densidad entre 0,6 y 0,7 = madera muy pesada.
- Densidad > 0,7 = madera excesivamente pesada.

En conclusión podemos decir que entre más densa sea una especie de madera, es mucho más resistente.

2.1.10. Contenido de humedad

La forma de seleccionar las muestras para determinar la humedad de cada prueba, se describe en cada ensayo. Cuando se obtiene esta muestra se quita de ella todas las astillas y se pesa.

Luego se acondiciona todo el volumen acumulado en ese día en un horno y se seca a una temperatura de 103 ± 2 grados centígrados, hasta que se llegue a un peso constante y se determina luego el peso seco.

La pérdida de humedad expresada como porcentaje del peso secado al horno, se considera como el contenido de humedad de la probeta.

$$H=\% \text{ Humedad} = \frac{((\text{peso húmedo}-\text{peso seco}) \times 100)}{\text{peso seco}}$$

A continuación se presenta la clasificación de la humedad en diferentes rangos:

- Madera verde, contiene más de 30 por ciento de humedad.
- Madera semi-seca, contiene entre un 23 a 30 por ciento de humedad.
- Madera comercialmente seca, cuando su humedad está dentro de un rango de 18 a 22 por ciento.
- Madera seca al aire, cuando su humedad está dentro del 13 a 17 por ciento.
- Madera con humedad normal, se le llama así a la humedad media cuyo porcentaje es de un 15 por ciento.

Es importante el grado o porcentaje de humedad que contenga la madera, ya que de ella depende la exactitud en los resultados de los ensayos físicos y mecánicos.

Hay que tomar en cuenta que el decremento de la humedad, le da a la madera un incremento en su resistencia, así como el efecto de la humedad no es igual para todas las propiedades.

2.2. Análisis estadístico y evaluación de resultados

El objetivo en esta sección es realizar un análisis y una evaluación de la especie según los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, para 10 y 15 años.

2.2.1. Procedimiento

Todos los datos obtenidos de cada una de las pruebas se someten a un análisis estadístico para poder llegar a obtener valores de mucha utilidad para evaluar las propiedades de la especie estudiada.

El análisis estadístico se realiza por cada ensayo realizado, se determina la media aritmética, la desviación estándar y el coeficiente de variación. El volumen de datos debe ser amplio para que exista representatividad.

Se obtienen los datos requeridos por cada prueba y se ordenan en forma clara. El siguiente procedimiento debe realizarse por cada edad de la especie, es decir, para 10 años y para 15 años.

2.2.2. Esfuerzos básicos

Los esfuerzos básicos son generados de los datos que se han obtenido del análisis estadístico. Los esfuerzos calculados en los ensayos son reducidos por medio de factores de reducción en la siguiente forma:

- Un factor de reducción por dispersión en los resultados, $(1 - CV)$. Donde CV es el coeficiente de variación.
- Un factor de reducción por efectos de cargas permanentes = $2/3$.

- Un factor de seguridad = 2.
- Corrección por efectos de humedad (en caso de diferencia significativa de cantidad de humedad. En este estudio no se aplicó por ser muy similares las cantidades, ver tabla V y VI).

Los esfuerzos básicos son valores dados para condiciones ideales del mismo (sin nudos, grietas u otros defectos) y se calculan, entonces, de la siguiente manera:

$$F_b = \frac{F(1 - CV)}{3}$$

Donde:

F_b = esfuerzo básico

F = esfuerzo obtenido en la prueba de laboratorio

CV = coeficiente de variación

2.2.3. Esfuerzos permisibles de trabajo

Los esfuerzos permisibles de trabajo, se generan de los esfuerzos básicos. Los esfuerzos básicos son los valores de resistencia del material, cuando éste se encuentra en condiciones ideales (sanas, limpias).

En la realidad la madera siempre presentará algún tipo de defecto y casi nunca se lograrán conseguir las condiciones ideales bajo las cuales se realizaron las pruebas, de aquí, que se reducen adecuadamente los esfuerzos básicos y se obtienen así los esfuerzos permisibles de trabajo, que son los valores recomendados para diseño cuando se usen estos materiales.

Se ha recomendado para las maderas nacionales, emplear tres grados estructurales, estos son:

- Tipo A, las maderas clasificadas como grado A y B serán empleadas en estructuras permanentes.
- Tipo B.
- Tipo C, en estructuras o construcciones provisionales o auxiliares.

2.2.4. Grados estructurales

Para los tres grados la madera debe ser sana, relativamente compacta y libre de defectos por volteo del árbol, deficiencias de estibado y secado, bolsas de resinas y hongos. El valor del esfuerzo permisible viene dado como porcentaje del esfuerzo básico y así, surge la clasificación de la madera, de acuerdo al mismo grado, de la siguiente manera:

- Maderas grado A: se les asigna esfuerzos de trabajo iguales al 85 por ciento de los esfuerzos básicos. La inclinación de la fibra permitida es de 1 vertical y 18 a lo largo de la fibra para piezas que trabajan en flexión o tensión paralela, y de 1 vertical y 14 a lo largo para piezas que trabajan a compresión paralela.
- Maderas grado B: se les asigna esfuerzos de trabajo iguales al 70 por ciento de los esfuerzos básicos. Se permite una inclinación máxima de la fibra de 1 vertical y 14 a lo largo de la fibra para piezas que trabajan en flexión o tensión paralela, y de 1 vertical y 14 a lo largo de la fibra para miembros estructurales trabajando a flexión ó tensión paralela. De 1 vertical y 10 a lo largo de la fibra para miembros que trabajan a compresión paralela.

- Maderas grado C: se les asigna esfuerzos de trabajo iguales al 50 por ciento de los esfuerzos básicos. La inclinación permitida de la fibra es de 1 vertical y 8 a lo largo de la fibra para miembros estructurales trabajando a flexión o tensión paralela y de 1 vertical y 6 a lo largo para miembros trabajando a compresión paralela.

2.3. Prediseño de elementos estructurales más comunes

Algo que se debe tomar en cuenta cuando se diseña en madera es que, al determinar las dimensiones del miembro, se debe tomar en cuenta el tiempo durante el cual se aplica la carga. Una fuerza aplicada repentinamente, de unos cuantos segundos de duración, quizá no produzca daños a un miembro, pero sí la misma fuerza se aplica durante un periodo más largo puede producir la falla.

Para que un diseño en madera sea completo deberán hacerse como mínimo tres chequeos, que son: flexión, corte y deflexión.

2.3.1. Vigas

- Diseño a Flexión

En el diseño a flexión se busca que el esfuerzo a flexión actuante “Ffa”, no exceda el valor del esfuerzo a flexión “Ff” para los diferentes tipos de madera.

$$F_f = F_{fa} = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{S}$$

Donde:

M = Momento máximo del elemento, debido a la carga aplicada

c = distancia al eje neutro de la sección (h/2)

I = Inercia de la sección ($1/12 bh^3$)

S = Módulo de sección. En donde:

$$S = \frac{I}{c} = \frac{bh^2}{6}$$

Por lo que al despejar esta fórmula para "bh", se tendrá la siguiente expresión:

$$bh^2 = \frac{6M}{F_f}$$

Generalmente, se asume un valor para "h" que este en función de "b" y reducir de esta forma el número de incógnitas a una.

En la figura 29 se dan valores de momentos para casos típicos de cargas y apoyos.

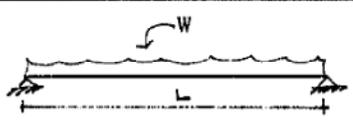
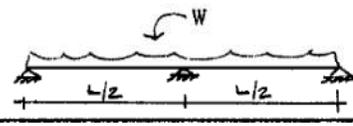
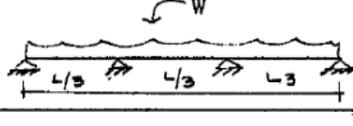
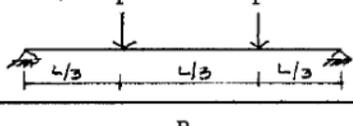
Al finalizar el diseño completo del elemento (por flexión, por corte y por deflexión), se debe chequear que el módulo de sección de la pieza sea \geq que el módulo de sección obtenida a través del diseño a flexión.

- Diseño a corte

Los esfuerzos de trabajo que se dan para corte y que se deben chequear, aplican a las vigas cargadas verticalmente.

Existen dos tipos de corte: 1) corte horizontal, que es la tendencia al deslizamiento en sentido paralelo al eje de la viga. 2) Corte vertical, es la tendencia al deslizamiento en sentido perpendicular al eje de la viga.

Figura 31. **Momentos para diferentes tipos de empotramiento**

	$M = \frac{WL^2}{8}$
	$M = \frac{WL^2}{9}$
	$M = \frac{WL^2}{9}$
	$M = \frac{PL}{3}$
	$M = \frac{PL}{4}$

Fuente: Paredes, Paola. Guía teórica y práctica del curso de Diseño Estructural. p. 66.

El corte horizontal es el más crítico para la madera y siendo la madera un material muy usado en el diseño de estructuras, es natural que su diseño se haga en este tipo de corte. El corte horizontal está en función del valor del corte vertical extremo en el punto considerado.

El esfuerzo de corte permisible de la madera “Fv”, es igual a 1,5 veces el valor del corte actuante de la madera “Va”, sobre el área de la sección de la madera “A”, donde:

$$F_v = \frac{3V_a}{2A}$$

Donde:

Fv = Esfuerzo de corte permisible

Va = Esfuerzo actuante

A = Área de la sección

El valor de “Va” para vigas simplemente apoyadas con carga uniformemente distribuida es:

$$V_a = \frac{W L}{2}$$

Donde:

W = Carga uniformemente distribuida en lb/pie

L = Longitud del tramo en pies

Para vigas sobre tres o más apoyos, cargadas también, uniformemente, será:

$$V_a = 0,6 WL$$

El valor Fc, obtenido en la fórmula no deberá exceder los esfuerzos permisibles de corte para los diferentes tipos de madera.

Al finalizar el diseño completo del elemento (por flexión, por corte y por deflexión), se debe chequear que el área de la sección transversal de la pieza sea que el área de la sección obtenida a través del diseño por corte.

- Diseño a deflexión

El límite admisible, también llamado deflexión máxima, para la flecha en las vigas en la construcción de pisos que soportan cielos rasos enyesados o tabiques, se toma, generalmente, como $\Delta = 1 / 360$ del claro.

Si se considera que el límite de las flechas admisibles en vigas que no soportan enyesados es $\Delta = 1 / 240$ de la longitud del claro; en los puentes para carreteras, la deflexión máxima es con frecuencia $\Delta = 1 / 200$ del claro. Cuando la madera está verde, se acostumbra en los cálculos duplicar la carga muerta, pero no la carga viva, para tomar en cuenta el flambeo.

Un caso que ocurre con frecuencia consiste en una combinación de carga uniformemente distribuida y una carga concentrada o cargas que actúan, simultáneamente. Si la flecha máxima de cada tipo de carga ocurre en la misma sección en la longitud de la viga, puede calcularse la flecha para cada sistema de carga por separado y su total será la flecha de la viga.

A continuación se darán las fórmulas para deflexión:

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{\alpha WL^4}{EI}$$

Donde:

W = Carga uniformemente distribuida en lb/pie

L = Luz libre del elemento en pulgadas

E = módulo de elasticidad, depende del material

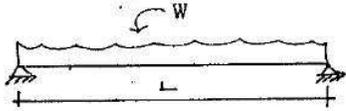
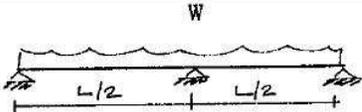
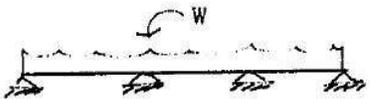
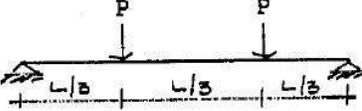
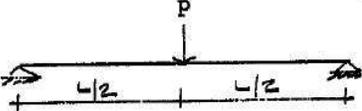
I = Inercia de la sección

α = Factor de deflección que depende de la carga. Ver figura 31.

Igualando las dos deflexiones, la $\Delta_{\text{máx}}$ y la Δ permisible, se resuelve para "I". Luego, sustituyendo esta "I" con su correspondiente valor de $(1/12) \times b \times h^3$, se despeja el valor de "b". Generalmente, se asume un valor para "h" que esté en función de "b" y reducir de esta manera el número de incógnitas a una.

Finalizando el diseño completo del elemento (por flexión, por corte, por deflexión) se debe chequear que la inercia de la pieza sea \geq que la inercia a través del diseño a deflexión.

Figura 32. Factores de deflexión

	$\alpha = \frac{5}{384}$
	$\alpha = \frac{1}{185}$
	$\alpha = 0,0069$
	$\alpha = \frac{23}{648}$
	$\alpha = \frac{1}{48}$

Fuente: Paredes, Paola. Guía teórica y practica del curso de Diseño Estructural. p. 67.

2.3.2. Columnas

Los esfuerzos de trabajo que se dan para compresión paralela a la fibra, se aplica a postes, columnas y puntales. Los esfuerzos de compresión perpendicular a la fibra se refieren a los que se produce en las partes de las vigas donde descansan apoyos o donde las cargas concentradas están en contacto con las vigas.

Si se tiene un elemento estructural del tipo columna, puntal o poste, se debe chequear su esbeltez de la siguiente manera:

$$\frac{L}{d} \leq 50$$

Donde:

L = Longitud del elemento

D = Lado menor de dicho elemento

De la misma fórmula anterior se puede calcular la longitud máxima del elemento, con solo despejar la variable L, el valor 50 va ser constante. La fórmula básica para determinar la capacidad de una columna de madera es la siguiente:

$$P = F_c \cdot C_p \cdot A$$

Donde:

A = área de la sección transversal de la columna

C_p = Factor de estabilidad de la columna

F_c = Valor de diseño para compresión paralela a la fibra

P = carga admisible de compresión axial de la columna

El factor de estabilidad de la columna se determina como sigue:

$$C_p = \frac{1 + \left(\frac{F_{ce}}{F_c}\right)}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{F_{ce}}{F_c}\right)}{2c}\right)^2 - \left(\frac{F_{ce}}{c}\right)}$$

Donde:

F_{ce} = esfuerzo de pandeo de Euler

C = 0,80 para madera de sierra; 0,85 para pilares redondos; 0,90 para piezas de madera laminadas pegadas

El esfuerzo de pandeo es el siguiente:

$$F_{ce} = \frac{K_{ce} * E}{\left(\frac{L}{d}\right)^2}$$

Donde:

K_{ce} = 0,300 para madera clasificada visualmente y madera evaluada a máquina; 0,418 para madera clasificada en la máquina de esfuerzos y piezas de madera laminadas pegadas

E = módulo de elasticidad de la madera en lb/pulg²

L = Longitud efectiva

d = dimensión de la sección transversal de la columna (ancho de la columna) medida en la dirección en la que se presenta el pandeo

El chequeo que se debe hacer es el siguiente:

$$F_f = \frac{P_{m\grave{a}x}}{A}$$

Donde:

F_f = Esfuerzo de flexión, depende del tipo de madera

P_{max} = Carga axial (lb)

A = Área de la sección transversal (pulg²)

Por lo que la carga axial por compresión debe ser menor que la carga axial máxima, para que el elemento no falle por flexión:

$$P_{m\grave{a}x} > P$$

Al diseñar la seccion alguna pieza de madera, ésta se debe dar conforme las medidas comerciales de seccion que hay. Se debe considerar que cuando se pide madera cepillada, las dimensiones de la madera disminuyen $1/16$ por cada cara cepillada.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Tablas de resultados

A continuación se presentan las tablas con resultados de las pruebas realizadas a las dos distintas edades de la especie de madera en estudio. Tales ensayos fueron realizados en madera seca.

3.1.1. Resultados físicos

Los resultados de los ensayos físicos de 10 y 15 años para la especie en estudio son presentados en la siguiente tabla.

Tabla II. **Resultados físicos**

No.	Tipo de Ensayo	Unidades	Edad 10 años	Edad 15 años
1	Peso específico	kg/m ³	479,34	502,90
2	Contenido de humedad	%	13,90	13,83
3	Contracción volumétrica	Largo (mm)	0,39	0,28
		Ancho (mm)	1,97	1,95
		Alto (mm)	1,81	2,19
		Volumen (mm ³)	29 226,4	31 334,26

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Resultados mecánicos

A continuación se presentan los resultados de los ensayos mecánicos realizados a las probetas de 10 años. Estos datos son los promedios calculados del análisis estadístico.

Tabla III. **Ensayos mecánicos de 10 años**

No.	Tipo de Ensayo	Unidades	Edad 10 años
1	Flexión estática	kg/cm ²	580,06
		Pa	56 885 821,73
	Módulo de ruptura	kg/cm ²	580,06
		Pa	56 885 821,73
	Módulo de elasticidad	kg/cm ²	36 704,68
		Pa	3 599 557 106,12
2	Compresión paralela a la fibra	kg/cm ²	245,55
		Pa	24 080 792,26
	Módulo de elasticidad	kg/cm ²	145,01
		Pa	14 220 940,31
3	Compresión perpendicular a la fibra	kg/cm ²	76,57
		Pa	7 508 687,12
4	Corte paralelo a la fibra	kg/cm ²	76,65
		Pa	7 517 231,80
5	Tensión paralela a la fibra	kg/cm ²	847,85
		Pa	83 146 591,33
6	Tensión perpendicular a la fibra	kg/cm ²	39,27
		Pa	3 850 763,25

Continuación de la tabla III.

7	Dureza radial	Kg	270,00
		N	2 647,81
8	Dureza tangencial	Kg	272,50
		N	2 672,33
9	Clivaje	kg/cm	35,70
		n/m	35 007,78

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Ensayos mecánicos de 15 años**

No.	Tipo de Ensayo	Unidades	Edad 15 años
1	Flexión estática	kg/cm ²	557,50
		Pa	54 672 948,55
	Módulo de ruptura	kg/cm ²	557,50
		Pa	54 672 948,55
	Módulo de elasticidad	kg/cm ²	53 184,15
		Pa	5 215 665 903,80
2	Compresión paralela a la fibra	kg/cm ²	262,63
		Pa	25 755 910,31
	Módulo de elasticidad	kg/cm ²	155,10
		Pa	15 210 183,25
3	Compresión perpendicular a la fibra	kg/cm ²	83,90
		Pa	8 228 397,44
4	Corte paralelo a la fibra	kg/cm ²	63,98
		Pa	6 274 042,47
5	Tensión paralela a la fibra	kg/cm ²	857,82
		Pa	84 124 977,42
6	Tensión perpendicular a la fibra	kg/cm ²	31,34
		Pa	3 073 410,79

Continuación de la tabla IV.

7	Dureza radial	Kg	287,50
		N	2 819,43
8	Dureza tangencial	Kg	291,67
		N	2 860,29
9	Clivaje	kg/cm	36,69
		n/m	35 984,67

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Resumen análisis estadístico

A continuación se muestran las tablas del análisis estadístico de 10 y 15 años para las pruebas físicas. Se presenta el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Tabla V. **Análisis estadístico de los ensayos físicos de 10 años**

Tipo de Ensayo	Unidades	X	S	CV
Peso específico	kg/m ³	479,34	36,10	7,53%
Contenido de humedad	%	13,90	0,13	0,91%
Contracción volumétrica	Largo (mm)	0,39	0,19	47,39%
	Ancho (mm)	1,97	0,52	26,53%
	Alto (mm)	1,81	0,64	35,17%
	Volumen (mm ³)	29 226,4	4 900,98	16,77%

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Análisis estadístico de los ensayos físicos de 15 años**

Tipo de Ensayo	Unidades	X	S	CV
Peso específico	kg/m ³	502,90	18,54	3,69%
Contenido de humedad	%	13,83	0,10	0,75%
Contracción volumétrica	Largo (mm)	0,28	0,15	51,71%
	Ancho (mm)	1,95	0,60	30,56%
	Alto (mm)	2,19	0,81	36,79%
	Volumen (mm ³)	31 334,26	8 391,39	26,78%

Fuente: elaboración propia.

A continuación las tablas del análisis estadístico de 10 y 15 años para los ensayos mecánicos.

Tabla VII. **Análisis estadístico de los ensayos mecánicos de 10 años**

Tipo de Ensayo	Unidades	X	S	CV
Flexión estática	kg/cm ²	580,06	58,41	10,07%
Módulo de ruptura	kg/cm ²	580,06	58,41	10,07%
Módulo de elasticidad	kg/cm ²	36 704,68	13 009,52	35,44%
Compresión paralela a la fibra	kg/cm ²	245,55	35,21	14,34%
Módulo de elasticidad	kg/cm ²	145,01	20,80	14,34%
Compresión perpendicular a la fibra	kg/cm ²	76,57	9,89	12,92%

Continuación de la tabla VII.

Corte paralelo a la fibra	kg/cm ²	76,65	12,49	16,29%
Tensión paralela a la fibra	kg/cm ²	847,85	307,92	36,32%
Tensión perpendicular a la fibra	kg/ cm ²	39,27	8,93	22,75%
Dureza radial	Kg	270,00	39,50	14,63%
Dureza tangencial	Kg	272,50	26,03	9,55%
Clivaje	kg/ cm ²	35,70	22,04	61,73%

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Análisis estadístico de los ensayos mecánicos de 15 años**

Tipo de Ensayo	Unidades	x	S	CV
Flexión estática	kg/cm ²	557,50	47,44	8,51%
Módulo de ruptura	kg/cm ²	557,50	47,44	8,51%
Módulo de elasticidad	kg/cm ²	53 184,15	18 059,82	33,96%
Compresión paralela a la fibra	kg/cm ²	262,63	22,11	8,42%
Módulo de elasticidad	kg/cm ²	155,10	13,06	8,42%
Compresión perpendicular a la fibra	kg/cm ²	83,90	24,03	28,64%

Continuación de la tabla VIII.

Corte paralelo a la fibra	kg/cm ²	63,98	13,53	21,15%
Tensión paralela a la fibra	kg/cm ²	857,82	307,92	36,32%
Tensión perpendicular a la fibra	kg/cm ²	31,34	8,93	22,75%
Dureza radial	kg	287,50	78,66	27,36%
Dureza tangencial	kg	291,67	73,60	25,23%
Clivaje	kg/ cm ²	36,69	10,24	27,89%

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Esfuerzos básicos

A continuación se presentan los esfuerzos normales y los básicos, calculados para las dos distintas edades, de 10 y 15 años de la especie en estudio. Se presenta el esfuerzo normal como el promedio obtenido del análisis estadístico y el esfuerzo básico es calculado con el mismo.

Tabla IX. **Esfuerzos básicos de 10 años**

No.	Tipo de Ensayo	Unidades	Esfuerzo	Esfuerzo Básico
1	Flexión estática	kg/cm ²	580,06	173,88
	Módulo de ruptura	kg/cm ²	580,06	173,88
	Módulo de elasticidad	kg/cm ²	36 704,68	36704,68
2	Compresión paralela a la fibra	kg/cm ²	245,55	70,11
	Módulo de elasticidad	kg/cm ²	1450,11	1 450,11
3	Compresión perpendicular a la fibra	kg/cm ²	76,57	22,22
4	Corte paralelo a la fibra	kg/cm ²	76,65	21,39
5	Tensión paralela a la fibra	kg/cm ²	847,85	179,97
6	Tensión perpendicular a la fibra	kg/cm ²	39,27	10,11
7	Dureza radial	Kg	270,00	76,83
8	Dureza tangencial	Kg	272,50	82,16
9	Clivaje	kg/cm	35,70	4,55

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Esfuerzos básicos de 15 años**

No.	Tipo de Ensayo	Unidades	Esfuerzo	Esfuerzo Básico
1	Flexión estática	kg/cm ²	557,50	170,02
	Módulo de ruptura	kg/cm ²	557,50	170,02
	Módulo de elasticidad	kg/cm ²	53 184,15	53 184,15
2	Compresión paralela a la fibra	kg/cm ²	262,63	80,17
	Módulo de elasticidad	kg/cm ²	1550,98	1550,98
3	Compresión perpendicular a la fibra	kg/cm ²	83,90	19,96
4	Corte paralelo a la fibra	kg/cm ²	63,98	16,82
5	Tensión paralela a la fibra	kg/cm ²	857,82	182,09
6	Tensión perpendicular a la fibra	kg/cm ²	31,34	8,07
7	Dureza radial	Kg	287,50	69,61
8	Dureza tangencial	Kg	291,67	72,69
9	Clivaje	kg/cm	36,69	8,82

Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Grados estructurales

A continuación se presentan los valores de los grados estructurales de cada tipo de propiedad mecánica, para las dos distintas edades, 10 y 15 años de la especie en estudio.

Tabla XI. Grados estructurales de 10 años

Tipo de Ensayo	Unidades	A	B	C
F.E.	kg/cm ²	147,80	121,72	86,94
	Pa	14 494 626,41	11 936 751,17	8 526 250,83
MOR	kg/cm ²	147,80	121,72	86,94
	pa	14 494 626,41	11 936 751,17	8 526 250,83
MOE	Kg/cm ²	6 713,63	5 528,87	3 949,19
	pa	658 392 649,99	542 205 711,76	387 289 794,11
C.P.F.	kg/cm ²	59,60	49,08	35,06
	pa	5 844 450,84	4 813 077,16	3 437 912,26
MOEC	kg/cm ²	35,19	28,98	20,70
	pa	3 451 447,35	2 842 368,40	2 030 263,15
C.PP.F.	kg/cm ²	18,89	15,56	11,11
	pa	1 852 574,88	1 525 649,90	1 089 749,93
Co.	kg/cm ²	18,18	14,97	10,69
	pa	1 782 903,33	1 468 273,33	1 048 766,66
T.P.F.	kg/cm ²	152,98	125,98	89,99
	pa	15 002 245,97	12 354 790,80	8 824 850,57
T.PP.F.	kg/cm ²	8,59	7,08	5,06
	pa	842 848,65	694 110,65	495 793,32

Continuación de la tabla XI.

D.R.	Kg	65,31	53,78	38,42
	N	640,47	527,44	376,75
D.T.	Kg	69,83	57,51	41,08
	N	684,84	563,98	402,84
Cl.	kg/cm	3,87	3,19	2,28
	n/m	3 795,57	3 125,76	2 232,69

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Grados estructurales de 15 años**

Tipo de Ensayo	Unidades	A	B	C
F.E.	kg/cm ²	144,52	119,01	85,01
	Pa	14 172 438,96	11 671 420,32	8 336 728,80
MOR	kg/cm ²	144,52	119,01	85,01
	Pa	14 172 438,96	11 671 420,32	8 336 728,80
MOE	kg/cm ²	9 951,89	8 195,67	5 854,05
	Pa	975 962 615,16	803 733 918,37	574 095 655,98
C.P.F.	kg/cm ²	68,15	56,12	40,09
	Pa	6 683 077,48	5 503 710,86	3 931 222,05
MOEC	kg/cm ²	40,24	33,14	23,67
	Pa	3 946 699,30	3 250 222,95	2 321 587,82
C.PP.F.	kg/cm ²	16,97	13,97	9,98
	Pa	1 663 787,74	1 370 178,14	978 698,67
Co.	kg/cm ²	14,29	11,77	8,41
	Pa	1 401 685,90	1 154 329,56	824 521,12
T.P.F.	kg/cm ²	154,78	127,46	91,05
	Pa	15 178 777,43	12 500 169,65	8 928 692,61
T.PP.F.	kg/cm ²	6,86	5,65	4,04
	Pa	672 703,04	553 990,74	395 707,67

Continuación de la tabla XII.

D.R.	Kg	59,17	48,73	34,81
	N	580,27	477,87	341,34
D.T.	Kg	61,79	50,88	36,34
	N	605,92	498,99	356,42
Cl.	kg/cm	7,50	6,17	4,41
	n/m	7 351,81	6 054,43	4 324,59

Fuente: elaboración propia.

3.2. Análisis de resultados

A continuación se realiza el análisis de los resultados obtenidos de las pruebas de las características físicas y de las propiedades mecánicas para la especie en estudio.

3.2.1. Análisis de características físicas

En el 60 por ciento de las pruebas de contracción volumétrica se registró mayor contracción en la dirección tangencial que la radial. Además, se registra un promedio de contracción volumétrica en las probetas de 10 años de 7,48 por ciento y de 8,22 por ciento en las probetas de 15 años.

El contenido de humedad registrada después de las pruebas mecánicas realizadas es en promedio de 13,9 por ciento para las probetas de 10 años y de 13,8 por ciento para las probetas de 15 años, lo cual cabe resaltar que las propiedades mecánicas de la madera se rigieron bajo un mismo contenido de humedad, garantizando así la calidad y consistencia de los resultados.

Los valores de peso específico obtenidos de las pruebas, clasifican a las dos edades como madera moderadamente pesada, siendo estos valores de 479,34 kilogramos por metro cubico para la madera de 10 años y de 502,90 kilogramos por metro cubico para la de 15 años, .lo cual hace a la madera de 15 años aproximadamente 5,00 por ciento más pesada que la de 10 años. En general, una madera más densa es más resistente que una menos densa.

3.2.2. Análisis de características mecánicas

A continuación se hace el análisis de los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas realizadas bajo la Norma ASTM D143. Las gráficas son los resultados de las pruebas de los ensayos de 10 años y de 15 años.

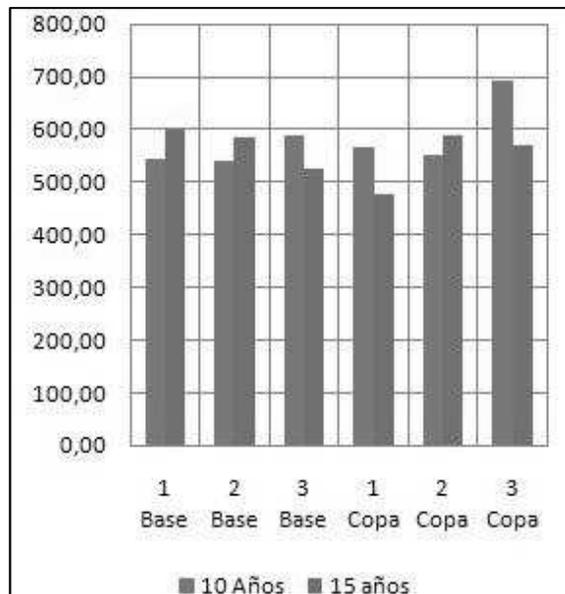
3.2.2.1. Flexión estática

La carga soportada por la madera de 10 años es en promedio aproximadamente un 5,00 por ciento mayor que las soportadas por la madera de 15 años. Siendo el esfuerzo de 580,06 kilogramos por centímetro cuadrado para la edad de 10 años y de 557,60 kilogramos por centímetro cuadrado para la edad de 15 años.

El módulo de elasticidad de la madera de 15 años es en promedio aproximadamente 45 por ciento mayor que el de la madera de 10 años, siendo el valor de 10 años, 367 046,84 kilogramos por centímetro cuadrado y de 15 años, 531 841,45 kilogramos por centímetro cuadrado. Lo que significa que la madera de 15 años se deflecta menos con las cargas actuantes.

Las probetas ensayadas de 10 años muestran una mayor deflexión y la falla está compuesta por poca compresión pero notoria y por tensión en la fibra cruzada. En las probetas ensayadas de 15 años se muestra poca deflexión y la falla está compuesta por compresión casi no apreciable y por tensión simple.

Figura 33. **Esfuerzos a flexión**



Fuente: elaboración propia, con el programa Microsoft Excel.

3.2.2.2. **Compresión paralela a la fibra**

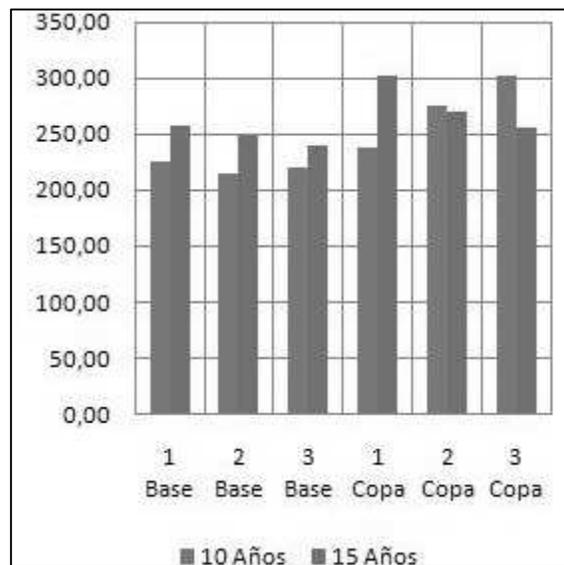
Los resultados de este ensayo muestran que, todas las probetas de la copa son más resistentes a compresión paralela que todas las probetas de la base del árbol en su respectiva edad.

Los esfuerzos de este tipo de ensayo de la madera de 15 años son en promedio aproximadamente 7 por ciento más que la de 10 años. Siendo los

promedios de 245,55 kilogramos por centímetro cuadrado para 10 años y de 262,63 kilogramos por centímetro cuadrado para 15 años.

Las probetas ensayadas de 10 años muestran poca deformación y la falla se da por aplastamiento en su mayoría, poco pero notorio, las demás muestran una falla con forma de cuña. En las probetas ensayadas de 15 años se muestra una menor deformación y la falla se da por aplastamiento en su mayoría, igualmente poco notorio, las demás probetas marcan una falla por rajadura.

Figura 34. **Esfuerzos de compresión paralela a la fibra**



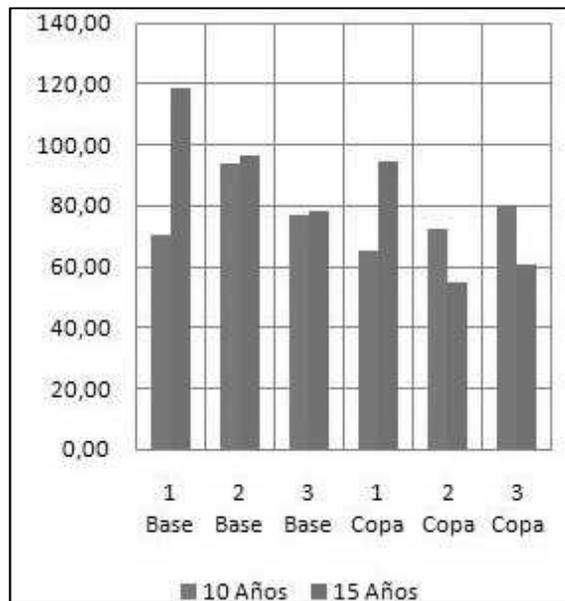
Fuente: elaboración propia, con el programa Microsoft Excel.

3.2.2.3. Compresión perpendicular a la fibra

Los resultados de éste ensayo muestran lo contrario que el anterior, y es porque, las probetas de la copa son en promedio menos resistentes a compresión perpendicular, que las probetas de la base del árbol en su respectiva edad.

Los esfuerzos de este tipo de ensayo de la madera de 15 años son en promedio aproximadamente 10,00 por ciento más que la de 10 años. Siendo los promedios de 76,57 kilogramos por centímetro cuadrado para 10 años y de 83,90 kilogramos por centímetro cuadrado para 15 años.

Figura 35. **Esfuerzos de compresión perpendicular a la fibra**



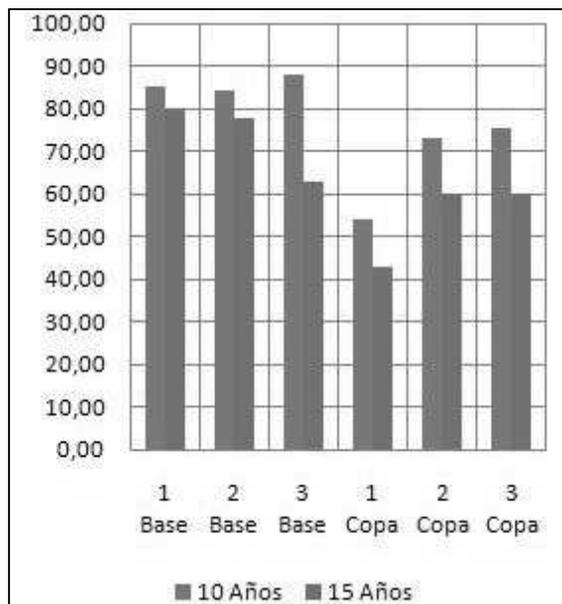
Fuente: elaboración propia, con el programa Microsoft Excel.

3.2.2.4. Corte paralelo a la fibra

Los resultados de este ensayo muestran que las probetas de la base son en promedio más resistentes a esfuerzos de corte que las probetas de la copa del árbol en su respectiva edad.

Los esfuerzos de este tipo de ensayo de la madera de 10 años son en promedio aproximadamente 20,00 por ciento más que la de 15 años. Siendo los promedios de 76,65 kilogramos por centímetro cuadrado para 10 años y de 63,98 kilogramos por centímetro cuadrado para 15 años.

Figura 36. Esfuerzos de corte



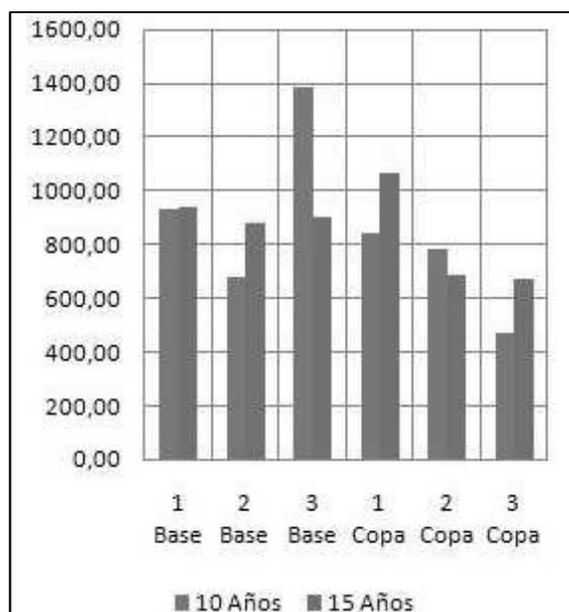
Fuente: elaboración propia, con el programa Microsoft Excel.

3.2.2.5. Tensión paralela a la fibra

Los resultados de este ensayo muestran que las probetas de la base son en promedio más resistentes a esfuerzos de tensión que las probetas de la copa del árbol en su respectiva edad.

Los esfuerzos de este tipo de ensayo de la madera de 15 años es en promedio aproximadamente 1,00 por ciento más que la de 10 años. Siendo los promedios de 847,85 kilogramos por centímetro cuadrado para 10 años y de 857,82 kilogramos por centímetro cuadrado para 15 años.

Figura 37. Esfuerzos de tensión paralela a la fibra



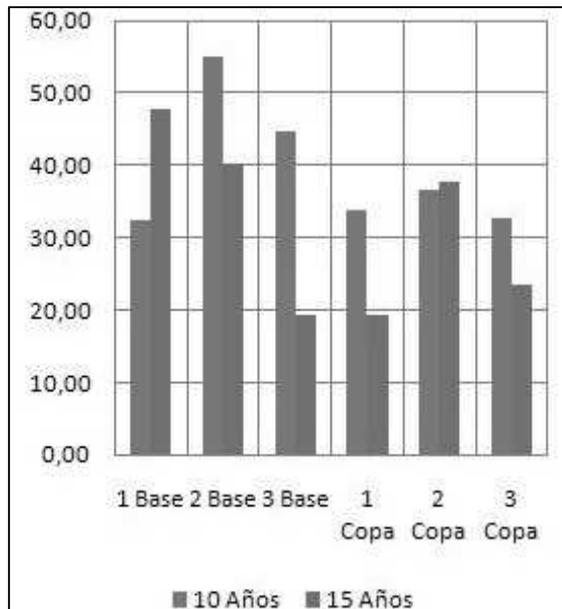
Fuente: elaboración propia, con el programa Microsoft Excel.

3.2.2.6. Tensión perpendicular a la fibra

Los resultados de este ensayo muestran que las probetas de la base son en promedio más resistentes a esfuerzos de tensión que las probetas de la copa del árbol en su respectiva edad.

Los esfuerzos de este tipo de ensayo de la madera de 10 años son en promedio aproximadamente 25,00 por ciento más que la de 15 años. Siendo los promedios de 39,27 kilogramos por centímetro cuadrado para 10 años y de 31,34 kilogramos por centímetro cuadrado para 15 años.

Figura 38. Esfuerzos de tensión perpendicular a la fibra



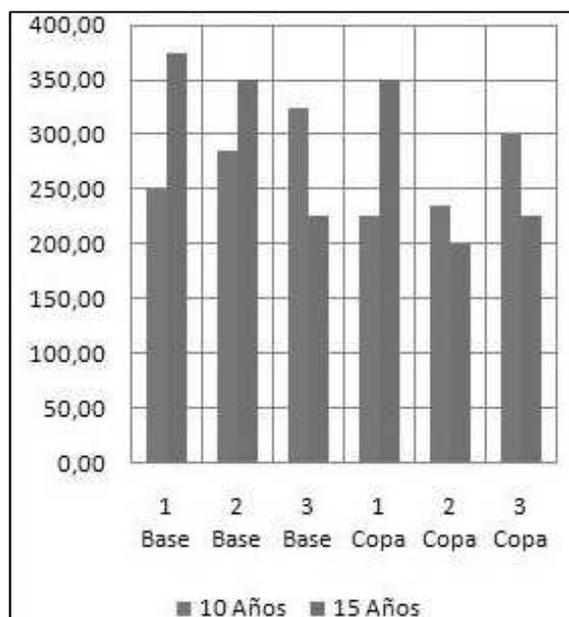
Fuente: elaboración propia, con el programa Microsoft Excel.

3.2.2.7. Dureza

Los resultados del ensayo de dureza radial muestran que las probetas de la base son en promedio más resistentes a la penetración o desgaste que las probetas de la copa del árbol en su respectiva edad.

La resistencia a la penetración de la madera de 10 años es en promedio, aproximadamente 7,00 por ciento más que la de 15 años. Siendo los promedios de 270,00 kilogramos para 10 años y de 287,50 kilogramos para 15 años.

Figura 39. Análisis de dureza radial

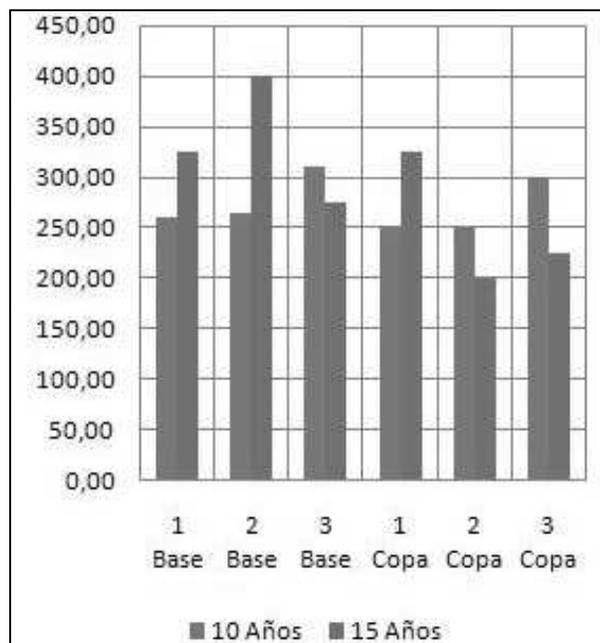


Fuente: elaboración propia, con el programa Microsoft Excel.

Los resultados del ensayo de dureza tangencial muestran que las probetas de la base son en promedio más resistentes a la penetración o desgaste que las probetas de la copa del árbol en su respectiva edad.

La resistencia a la penetración de la madera de 10 años es en promedio, aproximadamente 7,00 por ciento más que la de 15 años. Siendo los promedios de 272,50 kilogramos para 10 años y de 291,67 kilogramos para 15 años.

Figura 40. **Análisis de dureza tangencial**



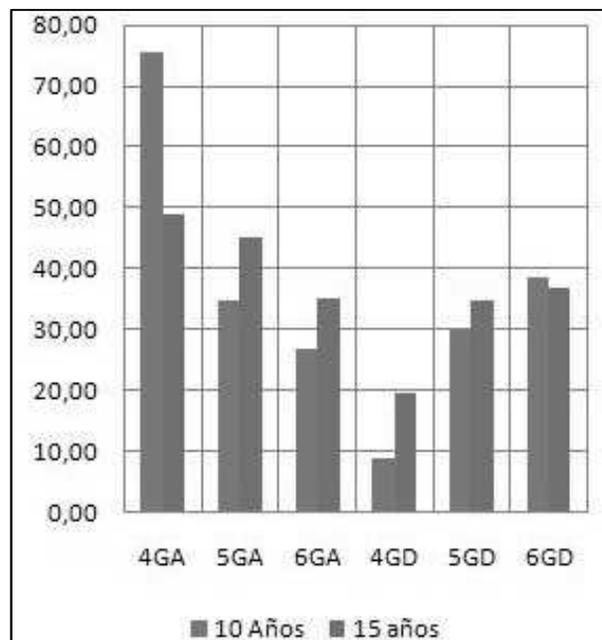
Fuente: elaboración propia, con el programa Microsoft Excel.

3.2.2.8. Clivaje

Los resultados de éste ensayo muestran que las probetas de la base son en promedio más resistentes a ser hendidas a lo largo de la fibra que las probetas de la copa del árbol en su respectiva edad.

La resistencia a ser hendida la madera de 15 años es en promedio, aproximadamente 3,00 por ciento más que la de 10 años. Siendo los promedios de 35,70 kilogramos por centímetro para 10 años y de 36,69 kilogramos por centímetro para 15 años.

Figura 41. **Análisis de clivaje**

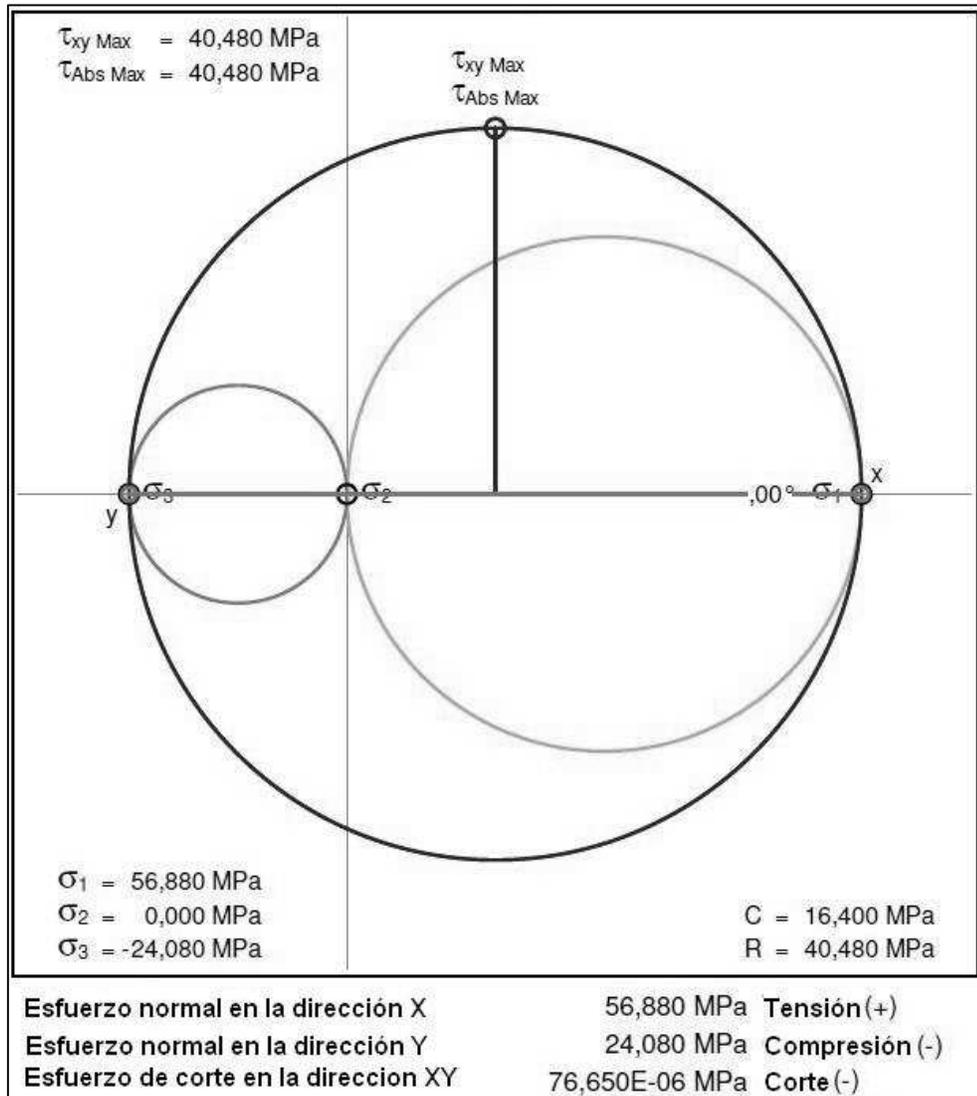


Fuente: elaboración propia, con el programa Microsoft Excel.

3.2.2.9. **Esfuerzos combinados**

Se realiza el análisis de esfuerzos combinados con los resultados de los ensayos mecánicos realizados, para este caso en particular se tomó la tensión paralela a la fibra, la compresión paralela a la fibra y el corte.

Figura 42. **Análisis de esfuerzos combinados**



Fuente: elaboración propia, con el programa AutoCAD.

3.2.3. Resumen de propiedades por especie y por edad

A continuación se presenta el resumen de las propiedades de la especie en estudio a las dos distintas edades, 10 y 15 años, junto con una breve descripción de las mismas.

Tabla XIII. **Resumen de madera de 10 años y sus características**

Tipo de Ensayo	Unidades	Edad 10 años	Características	
F.E.	kg/cm ²	580,06	El esfuerzo máximo a flexión es 5% mayor que el soportado por la madera de 15 años y el modulo de elasticidad es un 45% menor.	
	Pa	56 885 821,73		
MOR	kg/cm ²	580,06		
	Pa	56 885 821,73		
MOE	kg/cm ²	36 704,68		
	Pa	3 599 557 106,12		
C.P.F.	kg/cm ²	245,55		El esfuerzo a compresión paralela a la fibra es 7% menor que la madera de 15 años.
	Pa	24 080 792,26		
MOEC	kg/cm ²	145,01		
	Pa	14 220 940,31		
C.PP.F.	kg/cm ²	76,57	Es 10% menor que la de 15 años	
	Pa	7 508 687,12		
Co.	kg/cm ²	76,65	Es 20% mayor que la de 15 años	
	Pa	7 517 231,80		
T.P.F.	kg/cm ²	847,85	Es 1% menor en sentido radial y 25% mayor en sentido tangencial que la madera de 15 años.	
	Pa	83 146 591,33		
T.PP.F.	kg/cm ²	39,27		
	Pa	3 850 763,25		

Continuación de la tabla XIII.

D.R.	kg	270,00	Es 7% menos en sentido radial y 3% menor que la madera de 15 años	
	N	2 647,81		
D.T.	kg	272,50		
	N	2 672,33		
Cl.	kg/cm	35,70		Es 3% menor que la madera de 15 años.
	n/m	35 007,78		
P.E.	kg/m ³	479,34	Un promedio de contracción volumétrica del 7,48% lo cual es bastante inestable. Se clasifica como madera moderadamente pesada.	
C.H.	%	13,90		
C.V.	Largo (mm)	0,39		
	Ancho (mm)	1,97		
	Alto (mm)	1,81		
	Volumen (mm ³)	29 226,40		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Resumen de madera de 15 años y sus características**

Tipo de Ensayo	Unidades	Edad 15 años	Características
F.E.	kg/cm ²	557,50	El esfuerzo máximo a flexión es 5% menor que el soportado por la madera de 10 años y el modulo de elasticidad es un 45% mayor.
	pa	54 672 948,55	
M.R.	kg/cm ²	557,50	
	pa	54 672 948,55	
M.E.	kg	53 184,15	
	N	5 215 665 903,80	

Fuente: elaboración propia.

Continuación de la tabla XIV.

C.P.F.	kg/cm ²	262,63	El esfuerzo a compresión paralela a la fibra es 7% mayor que la madera de 10 años.
	pa	25 755 910,31	
M.E.	kg/cm ²	155,10	Es 10% mayor que la de 10 años
	pa	15 210 183,25	
C.PP.F.	kg/cm ²	83,90	Es 20% menor que la de 10 años
	pa	8 228 397,44	
Co.	kg/cm ²	63,98	Es 1% mayor en sentido radial y 25% menor en sentido tangencial que la madera de 10 años.
	pa	6 274 042,47	
T.P.F.	kg/cm ²	857,82	Es 7% mayor en sentido radial y 3% mayor que la madera de 10 años
	pa	84 124 977,42	
T.PP.F.	kg/cm ²	31,34	Es 3% mayor que la madera de 10 años.
	pa	3 073 410,79	
D.R.	kg	287,50	Un promedio de contracción volumétrica del 8,22% lo cual es bastante inestable. Es 5% más pesada que la de 10 años y se clasifica como madera moderadamente pesada igualmente.
	n	2 819,43	
D.T.	kg	291,67	
	n	2 860,29	
Cl.	kg/cm	36,69	
	n/m	35 984,67	
P.E.	kg/m ³	502,90	
C.H.	%	13,83	
C.V.	Largo (mm)	0,28	
	Ancho (mm)	1,95	
	Alto (mm)	2,19	
	Volumen (mm ³)	31 334,26	

Fuente: elaboración propia.

3.3. Prediseño de elementos estructurales

A continuación se prediseñaran los elementos más comunes, como lo son las vigas y las columnas. Se calculará la capacidad de los mismos con las secciones más comerciales.

3.3.1. Vigas

Se realizará un ejemplo para la comprensión del método y a continuación se mostrarán los resultados de las cargas máximas permisibles para las respectivas secciones del elemento.

3.3.1.1. Ejemplo

Calcular la carga distribuida máxima que soporta una viga de sección 4 x 6 pulgadas con una luz de 6 pies. Usar melina de grado estructural A.

Datos conocidos: sección de la viga 4 x 6 pulgadas, longitud: 6 pies, deflexión máxima permitida $1/360$ de la luz, peso específico de la madera 479,34 kilogramos por metro cúbico que equivale a, 0,0173 libras por pulgada cúbica.

De los datos obtenidos en los ensayos mecánicos realizados tenemos que, esfuerzo a flexión: 147,80 kilogramo por centímetro cuadrado que equivale a, 1 731,26 libras por pulgada cuadrada, módulo de elasticidad: 36 704,68 kilogramo por centímetro cuadrado que equivale a, 522 061,68 libras por pulgada cuadrada, esfuerzo a corte: 18,18 kilogramo por centímetro que equivale a, 212,92 libras por pulgada cuadrada.

Se hace el primer chequeo por flexión, como se vio en el capítulo 2 el módulo de sección calculado del miembro estructural sometido al momento tiene que ser menor que el de la sección propuesta. Para este caso que se necesita averiguar el momento, hacemos el proceso inverso, para empezar se igualan los módulos de sección.

$$S_v = S = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{4 \cdot 6^2}{6} = 24 \text{ pulg}^2$$

De este modo podemos averiguar el momento, despejándolo de la fórmula del módulo de sección.

$$S = \frac{M}{F_b}; M = F_b \cdot S; M = \frac{1731,26 \cdot 24}{12} = 3462,52 \text{ lb-pie}$$

Y como el momento para una carga distribuida es $W \times L/8$, despejando la carga.

$$M = \frac{WL}{8}; \text{entonces } W = \frac{8M}{L}; w = \frac{8 \cdot 3462,52}{6} = 4616,69 \text{ lb}$$

Ahora restamos el peso propio del miembro para poder así averiguar la carga externa máxima soportada,

$$W = W_e + W_v; W_e = W - W_v;$$

$$W_v = V \cdot P_e; W_v = (4 \cdot 6 \cdot 12) \cdot 0,173 = 4,98 \text{ lb/pie lineal}$$

$$W = 4616,69 - 4,98(6) = 4586,79 \text{ lb}$$

Ahora se hace el chequeo por cortante, en el cual la fuerza cortante actuante tiene que ser menor que la fuerza cortante de la madera. En este caso volvemos a igualar las condiciones para averiguar la carga máxima soportado por el cortante.

$$Fva=Fv$$

Ahora se calcula la fuerza cortante despejando de la fórmula del esfuerzo cortante horizontal producido por una carga.

$$Fva=\frac{3*V}{2*b*d}; V=\frac{2*Fva*b*d}{3}; V=\frac{(2*212,92*4*6)}{3}=3\ 406,76\text{ lb}$$

Como la fuerza cortante pertenece a las dos reacciones, se debe conocer la carga que produce dichas fuerzas.

$$R1=R2=V=\frac{W}{2}; W=2V; W=(2*3\ 406,76)=6\ 813,53\text{ lb}$$

Se resta la carga muerta de la viga para obtener la fuerza externa máxima permisible por corte.

$$W=6\ 813,53-4,98(6)=6\ 783,63\text{ lb}$$

El tercer chequeo se hace por la deflexión máxima permitida, en la cual la deflexión del miembro diseñado debe ser menor que la deflexión máxima permitida, en este caso las igualamos para encontrar la carga que produce una deflexión máxima.

$$\Delta a=\Delta; \Delta a=\frac{1}{360\left(\frac{6}{12}\right)}=0,20''$$

Ahora de la ecuación de la flecha o deflexión se despeja la carga.

$$\Delta = \frac{5 \cdot W L^3}{384 \cdot E \cdot I}; W = \frac{384 \cdot E \cdot I \cdot \Delta}{5 \cdot L^3};$$

Donde el momento de inercia es:

$$I = \left(\frac{1}{12}\right) \cdot b \cdot h^3 = \frac{4 \cdot 6^3}{12} = 72 \text{ pulg}^4$$

$$W = \frac{384 \cdot 522\,061,68 \cdot 72,00 \cdot 0,20}{5 \cdot (6 \cdot 12)^3} = 1\,546,85 \text{ lb}$$

Igualmente se resta el peso propio de la viga para obtener la carga externa máxima soportada por la condición de deflexión.

$$W = 1\,546,85 - 4,98(6) = 1\,516,95 \text{ lb}$$

Se escoge la carga menor de las tres condiciones, por flexión, corte y deflexión, en este caso es la carga por deflexión, esto quiere decir, que esta carga cumple con los tres chequeos efectivamente. La carga distribuida sería, $w/L = 1\,516,96 \text{ lb} / 6 \text{ pies} = 252,82 \text{ lb} / \text{pie}$.

3.3.1.2. Cargas máximas para vigas

A continuación se presenta la tabla de las cargas uniformemente distribuidas que soportaría las vigas con la madera en estudio, Gmelina arborea Roxb. Cabe mencionar que esta tabla se realizó con la condición de que la deflexión por carga viva limitada a 1/360 del claro.

Tabla XV. **Cargas uniformes máximas para vigas de 10 años**

		Longitudes			
Secciones		4 pies	6 pies	8 pies	10 pies
Vigas	4" x 6"	870,10	257,81	108,76	55,69
	4" x 7"	1381,69	409,39	172,71	88,43
Viguetas	2" x 6"	435,05	128,90	54,34	27,84
	3" x 6"	652,58	193,36	81,57	41,76

Fuente: cargas máximas para vigas en lb/pie.

Tabla XVI. **Cargas uniformes máximas para vigas de 15 años**

		Longitudes			
Secciones		4 pies	6 pies	8 pies	10 pies
Vigas	4" x 6"	1 255,77	368,57	152,61	75,70
	4" x 7"	1 891,19	587,38	244,44	122,32
Viguetas	2" x 6"	627,89	184,29	76,31	37,85
	3" x 6"	941,83	276,43	114,46	56,78

Fuente: cargas máximas para vigas en lb/pie.

3.3.2. Columnas

Se realizará un ejemplo para la comprensión del método y a continuación se mostraran los resultados de las cargas máximas permisibles para las respectivas secciones del elemento.

3.3.2.1. Ejemplo

Un miembro de madera sometido a compresión mide 6" x 6" y es de la especie en estudio, Gmelina arbórea Roxb. Encuentre la carga de compresión axial de seguridad para la longitud no arriostradas de 8 pies.

Datos conocidos: peso específico de la madera 479,34 kilogramos por metro cubico que equivale a, 0,0173 libras por pulgada cúbica.

De los datos obtenidos en los ensayos mecánicos realizados tenemos que, esfuerzo a compresión paralela a la fibra: 245,55 kilogramos por centímetro cuadrado que equivale a, 1 3 492,56 libras por pulgada cuadrada, módulo de elasticidad: 36 704,68 kilogramos por centímetro cuadrado que equivale a, 522 061,68 libras por pulgada cuadrada.

Se chequea la esbeltez, se asegura que este dentro del límite. Después se obtiene el esfuerzo por pandeo para luego obtener el factor de estabilidad de la columna y así finalmente obtener la capacidad axial de la columna.

$$\frac{L}{d} \leq 50; e = \frac{8 \cdot 12}{6} = 16$$

$$F_{ce} = \frac{(K_{ce} * E)}{\left(\frac{L}{d}\right)^2} = \frac{0,3 * 522\,061,68}{\left(\frac{8 * 12}{6}\right)^2} = 611,79 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

$$\frac{F_{ce}}{F_c} = \frac{611,79}{3\,492,56} = 0,1752$$

$$C_p = \frac{1 + 0,1752}{1,6} - \sqrt{\left(\frac{1 + 0,1752}{1,6}\right)^2 - \left(\frac{0,1752}{0,8}\right)} = 0,1684$$

$$P = 3\,492,56 * 0,1684 * 6^2 = 21\,173,30 \text{ lb}$$

La carga admisible de seguridad seria 21 173,30 libras para la columna de 6 pulgadas x 6 pulgadas de melina.

3.3.2.2. Cargas máximas para columnas

A continuación se muestra las capacidades admisibles de carga de una serie de columnas con las propiedades mecánicas de la especie en estudio, Gmelina arborea Roxb.

Tabla XVII. **Cargas admisibles para columnas de 10 años**

		Longitudes			
		Secciones	8 pies	10 pies	12 pies
Columnas	6" x 6"	21 173,30	13 757,60	9 628,94	
	8" x 8"	64 396,21	42 548,57	30 006,44	
Parales	1 1/2" x 6"	343,37	219,93	152,80	
	1 1/2" x 8"	457,83	293,25	203,73	

Fuente: cargas admisibles para columnas en lbs.

Tabla XVIII. **Cargas admisibles para columnas de 15 años**

		Longitudes			
		Secciones	8 pies	10 pies	12 pies
Columnas	6" x 6"	30 167,91	19 744,68	13 864,76	
	8" x 8"	89 994,94	60 457,95	42 946,11	
Parales	1 1/2" x 6"	497,15	318,52	231,32	
	1 1/2" x 8"	662,86	424,69	295,10	

Fuente: cargas admisibles para columnas en lbs.

CONCLUSIONES

1. Las características físicas que se determinaron, a partir de los ensayos, muestran que la madera se contrae más en la dirección tangencial que en la dirección radial, además, volumétricamente la madera de 10 años se contrae 7,50 por ciento y la de 15 años un 8,20 por ciento lo que la clasifica como una madera de muy baja contracción volumétrica. Según su densidad la madera se clasifica como moderadamente pesada sin embargo la madera de 15 años es 5,00 por ciento más pesada que la de 10 años.
2. La madera de 10 años muestra una mayor resistencia en los esfuerzos de flexión, clasificándose como bajo; corte paralelo clasificándose también como bajo; tensión perpendicular y dureza.
3. La madera de 15 años muestra un mayor módulo de elasticidad clasificándose este como muy alto, una mayor resistencia a los esfuerzos de compresión paralela y perpendicular a la fibra, clasificándose como baja y muy alta respectivamente; tensión paralela a la fibra y clivaje.
4. La madera de 10 y 15 años de la especie en estudio es apta para vigas y para columnas, siempre y cuando las cargas de diseño no sobrepasen las máximas calculadas para cada elemento estructural, según se mostraron en las secciones 3.3.1.2. y 3.3.2.2. del capítulo 3.

5. Con la determinación de las características físicas y las propiedades mecánicas de la especie en estudio, ahora existe información técnica para poder industrializar la madera según la edad de la misma.

RECOMENDACIONES

1. Es importante la continuación y término de las características físicas y propiedades mecánicas del presente estudio. Debido a que un estudio preliminar no basta para recaudar la información necesaria, sobre las especies, pues, se debe tener una gran cantidad de datos para que sean representativos.
2. El secado de la madera en este estudio debe darse de manera natural. Sin embargo, se recomienda realizar investigación a fin de determinar un método de secado, utilizando hornos u otros mecanismos, que brinde un resultado más rápido y eficiente para que sea utilizado industrialmente.
3. Debido a que la madera de esta especie, sufre alteraciones dimensionales muy bajas se recomienda su uso en la construcción de obras civiles, formando las estructuras de soporte y en encofrados. Asimismo, se recomienda su uso en la ebanistería.
4. Al Instituto Nacional de Bosques, para que brinden a los productores de madera, la capacitación y tecnificación sobre el manejo adecuado de bosques y el cultivo de nuevos, con el objetivo de promover el uso de la madera según los resultados obtenidos en el presente estudio.
5. Fomentar la investigación de más características físicas y químicas para el aprovechamiento de estas especies en usos más convenientes, para, de esta manera, abarcar más campos donde las especies de madera puedan llegar a ser comercializadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials. *Sampling Forest Threes for Determinaton of Clear Wood Properties*. Norma ASTM D 5536-94. Baltimore: ASTM, 2004. 9 p.
2. _____. *Standard Test methods for Small Clear Specimens of Timber*. Norma ASTM D 143-94. Baltimore: ASTM, 2004. 31 p.
3. CASTILLO SOSA, William Giovani. *Propiedades físico mecánicas del Pinus Patula Sheide*. Trabajo de graduacion de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingenieria, 2004. 191 p.
4. PAREDES RUIZ, Paola Anaitée. *Guía teorica y práctica del curso de diseño estructura*. Trabajo de graduacion de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingenieria, 1996. 160 p.
5. PARKER, Harry; AMBROSE, James. *Diseño simplificado de estructuras de madera*. Mexico: Limusa, 2000. 294 p.
6. RIVAS BOCH, Claudia Lorena. *Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Petén*. Trabajo de Graduacion de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingenieria, 2006. 99 p.

7. SIMMONS, Charles; TARANO, José; PINTO, José. *Clasificación de reconocimientos de los suelos de la República de Guatemala*. Guatemala: José de Pineda Ibarra, 1959. 987 p.

ANEXOS

1. Boleta para la autorización del transporte de la madera y control forestal
2. Reportes de los ensayos mecánicos
3. Reportes de los ensayos físicos

1. Boleta para la autorización del transporte de la madera y control forestal

NOTA DE ENVÍO DE BOSQUE
EXENTOS DE LICENCIA FORESTAL

FECHA DE SALIDA DEL LUGAR DE APROVECHAMIENTO: Finca Santa Fe Iltalabou NÚMERO DE CORRELATIVO (DIN SERIE): **354490**

NOMBRE DE LA PERSONA O EMPRESA RESPONSABLE: Carlos de León Prera NIT: 700977-6

NÚMERO DE INSCRIPCIÓN EN EL REGISTRO FORESTAL: 93-1106-15-7-8-2010 NOMBRE DE LA FINCA: Santa Fe

ALDEA: EL FIOR MUNICIPIO: San Andrés vía Seca DEPARTAMENTO: Retalhuleu

TIPO DE PRODUCTO	ESPECIE	VOLUMEN EN M ³
<u>treros</u>	<u>teca</u>	<u>2 m.3</u>
<u>treros</u>	<u>Molina</u>	
TOTAL EN M ³		<u>2 m 3</u>

FIRMA DEL TITULAR DEL APROVECHAMIENTO FORESTAL O DE QUIEN LO REGISTRE: [Firma]

NOMBRE DEL CONDUCTOR: Rafael Rangel No. DE PLACA: 199176750406C-133BC9

CLASE Y No. DE LICENCIA: 199176750406C-133BC9

FIRMA DEL CONDUCTOR: [Firma]

FECHA DE RECEPCIÓN: Ciudad Guatemala

VOLUMEN TRANSPORTADO EN NÚMEROS: 2 m 3 EN LETRAS: dos metros cubico

FIRMA Y SELLO DESTINATARIO: _____

Fuente: Instituto Nacional de Bosques (INAB).

2. Reportes de los ensayos físicos y mecánicos



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. 627-M

O.T. No. 28630

INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID
PROYECTO: TESIS "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACION DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

Flexión estática

Árbol: 1
Edad: 10 años
Troza: A

Árbol: 2
Edad: 10 años
Troza: A

Sección de la probeta: $4.90 \times 4.87 = 23.8630 \text{ cm}^2$ Sección de la probeta: $4.96 \times 4.95 = 24.5520 \text{ cm}^2$
Identificación de la probeta: 1GA Identificación de la probeta: 2GA

1GA

Carga (Kg)	Deflexión (mm)
50	-
100	3.00
150	-
200	6.00
250	-
300	7.00
350	-
400	13.00
450	-
500	21.00
550	-
600	40.00

2GA

Carga (Kg)	Deflexión (mm)
50	3.00
100	5.00
150	5.00
200	6.00
250	7.00
300	8.00
350	9.00
400	10.00
450	11.00
500	12.00
550	16.00
600	20.00
625	21.00



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12, Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595



INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID
PROYECTO: TESIS "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACION DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION

Árbol: 3
Edad: 10 años
Troza: A
Sección de la probeta: $4.92 \times 4.93 = 24.2556 \text{ cm}^2$
Identificación de la probeta: 3GA

Árbol: 4
Edad: 15 años
Troza: A
sección de la probeta: $4.86 \times 4.89 = 23.7654 \text{ cm}^2$
Identificación de la probeta : 4GA

3GA

Carga (Kg)	Deflexión (mm)
50	2.00
100	4.00
150	5.00
200	5.00
250	7.00
300	8.00
350	10.00
400	11.00
450	13.00
500	15.00
550	18.00
600	24.00
650	35.00
670	37.00

4GA

Carga (Kg)	Deflexión (mm)
50	2.00
100	3.00
150	5.00
200	5.00
250	6.00
300	7.00
350	8.00
400	10.00
450	11.00
500	12.00
550	13.00
600	15.00
650	17.00
665	20.00





INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID
 PROYECTO: TESIS "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACION DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

Árbol: 5
 Edad: 15 años
 Troza: A

Sección de la probeta: $4.96 \times 5.04 = 24.9984 \text{ cm}^2$
 Identificación de la probeta: 5GA

Árbol: 6
 Edad: 15 años
 Troza: A

Sección de la probeta: $4.97 \times 5.01 = 24.8997 \text{ cm}^2$
 Identificación de la probeta: 6GA

5GA

Carga	5GA
50	2.00
100	4.00
150	5.00
200	5.00
250	6.00
300	7.00
350	8.00
400	9.00
450	10.00
500	11.00
550	13.00
600	15.00
650	18.00
700	21.00
702.5	25.00

6GA

Carga	6GA
50	1.00
100	2.00
150	3.00
200	4.00
250	5.00
300	7.00
350	8.00
400	9.00
450	10.00
500	12.00
550	15.00
600	17.00
625	20.00





INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID

PROYECTO: TESIS DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACION DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

Árbol: 1

Edad: 10 años

Troza: D

Sección de la probeta: $4.92 \times 4.91 = 24.1572 \text{ cm}^2$

Identificación de la probeta: 1GD

Árbol: 2

Edad: 10 años

Troza: D

Sección de la probeta: $4.91 \times 4.96 = 24.3536 \text{ cm}^2$

Identificación de la probeta: 2GD

1GD

Carga (Kg)	Deflexión (mm)
50	2.00
100	3.00
150	4.00
200	4.00
250	5.00
300	6.00
350	7.00
400	8.00
450	10.00
500	12.00
550	14.00
600	18.00
637.5	25.00

2GD

Carga (Kg)	Deflexión (mm)
50	2.00
100	3.00
150	4.00
200	5.00
250	5.00
300	6.00
350	8.00
400	9.00
450	10.00
500	11.00
550	12.00
600	15.00
635	20.00





INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID
PROYECTO: TESIS "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACION DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

Árbol: 3
Edad: 10 años
Troza: D

Sección de la probeta: $4.92 \times 4.93 = 24.2556 \text{ cm}^2$
Identificación de la probeta: 3GD

Árbol: 4
Edad: 15 años
Troza: D

Sección de la probeta: $4.86 \times 4.88 = 23.7168 \text{ cm}^2$
Identificación de la probeta: 4GD

3GD

Carga (Kg)	Deflexión (mm)
50	1.00
100	1.50
150	2.00
200	2.50
250	3.00
300	3.50
350	5.00
400	6.00
450	7.00
500	8.00
550	9.00
600	10.00
650	11.00
700	14.00
750	17.00
790	20.00

4GD

Carga (Kg)	Deflexión (mm)
50	0.00
100	1.00
150	2.00
200	3.00
250	4.00
300	5.00
350	6.00
400	7.00
450	8.00
525	9.00





INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID
PROYECTO: TESIS "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACION DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

Árbol: 5

Edad: 15 años

Troza: D

Sección de la probeta: $4.94 \times 4.87 = 24.0578 \text{ cm}^2$

Identificación de la probeta: 5GD

Árbol: 6

Edad: 15 años

Troza: D

Sección de la probeta: $4.86 \times 4.87 = 23.6682 \text{ cm}^2$

Identificación de la probeta: 6GD

5GD

Carga (Kg)	Deflexión (mm)
50	1.00
100	2.00
150	3.00
200	3.00
250	5.00
300	6.00
350	7.00
400	8.00
450	9.00
500	10.00
550	11.00
600	14.00
655	19.00

6GD

Carga (Kg)	Deflexión (mm)
50	1.00
100	2.00
150	3.00
200	4.00
250	5.00
300	6.00
350	8.00
400	9.00
450	10.00
500	11.00
550	13.00
600	17.00
625	20.00

Atentamente,

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
Jefe Sección Metales y Productos Manufacturados

Vo.Bo.
Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora C.I.I.



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595



INFORME No. 627-M

O.T. No. 28630, O.T.No. 28631

INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID

PROYECTO: TESIS "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACION DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

PROVEEDOR: *****

ASUNTO: ENSAYO DE COMPRESION PARALELA A LA FIBRA, COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA, CORTE, TENSION PERPENDICULAR A LA FIBRA, TENSION PARALELA A LA FIBRA, FLEXION DUREZA TANGENCIAL O RADIAL Y CLIVAJE EN PROBETAS DE MADERA.

FECHA: GUATEMALA 22 DE JULIO DE 2011.

1. ANTECEDENTES

El estudiante Carlos Enrique González Del Cid, con numero de carne 200512188 solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara ensayo de Compresión Paralela a la fibra, Compresión Perpendicular a la Fibra, Tensión paralela a la fibra, tensión perpendicular a la fibra, corte, Flexión, Dureza Radial o tangencial y clivaje en probetas de madera.

Los ensayos en cuestión son parte de su trabajo de graduación "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (MELINA) DE RETALHULEU PARA RECOMENDACION DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".

2. Resultados

Compresión paralela a la fibra

No.	Identificación	A (cm)	B (cm)	Área A (cm ²)	Carga P (Kg)	Esfuerzo	
						Kg/cm ²	Mpa
1	1GA	5.06	5.05	25.5530	1,810.00	70.83	6.95
2	2GA	5.05	5.05	25.5025	2,400.00	94.11	9.23
3	3GA	5.05	5.06	25.5530	1,950.00	76.31	7.48
4	4GA	5.05	5.07	25.6035	3,000.00	117.17	11.49
5	5GA	5.00	5.02	25.1000	2,460.00	98.01	9.61
6	6GA	5.05	5.05	25.5025	2,000.00	78.42	7.69
7	1GD	5.02	4.87	24.4474	1,600.00	65.45	6.42
8	2GD	5.00	5.00	25.0000	1,850.00	74.00	7.26
9	3GD	5.04	5.01	25.2504	2,020.00	80.00	7.85
10	4GD	4.65	4.62	21.4830	2,040.00	94.96	9.31
11	5GD	5.00	5.00	25.0000	1,340.00	53.60	5.26
12	6GD	5.40	4.99	26.9460	1,540.00	57.15	5.60





INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID

PROYECTO: TESIS "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACION DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

Compresión perpendicular a la fibra

No.	Identificación	A (cm)	B (cm)	Área A (cm ²)	Carga P (Kg)	Esfuerzo	
						Kg/cm ²	Mpa
1	1GA	5.08	5.05	25.6540	1810.00	70.55	6.92
2	2GA	5.05	5.07	25.6035	2400.00	93.74	9.19
3	3GA	5.04	5.02	25.3008	1950.00	77.07	7.56
4	4GA	5.02	5.04	25.3008	3000.00	118.57	11.63
5	5GA	5.05	5.05	25.5025	2460.00	96.46	9.46
6	6GA	5.05	5.04	25.4520	2000.00	78.58	7.71
7	1GD	5.02	4.88	24.4976	1600.00	65.31	6.41
8	2GD	5.06	5.05	25.5530	1850.00	72.40	7.10
9	3GD	5.05	4.98	25.1490	2020.00	80.32	7.88
10	4GD	4.65	4.65	21.6225	2040.00	94.35	9.25
11	5GD	5.06	4.85	24.5410	1340.00	54.60	5.35
12	6GD	5.03	5.03	25.3009	1540.00	60.87	5.97





INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID

PROYECTO: TESIS "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACIÓN DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

Corte paralelo a la fibra

No.	Identificación	A (cm)	B (cm)	Área A (cm ²)	Carga P (Kg)	Esfuerzo	
						Kg/cm ²	Mpa
1	1GA	5.06	5.05	25.5530	2175.00	85.12	8.35
2	2GA	5.05	5.05	25.5025	2150.00	84.31	8.27
3	3GA	5.05	5.06	25.5530	2250.00	88.05	8.64
4	4GA	5.05	5.07	25.6035	2050.00	80.07	7.85
5	5GA	5.00	5.02	25.1000	1950.00	77.69	7.62
6	6GA	5.05	5.05	25.5025	1600.00	62.74	6.15
7	1GD	5.02	4.87	24.4474	1325.00	54.20	5.32
8	2GD	5.00	5.00	25.0000	1825.00	73.00	7.16
9	3GD	5.04	5.01	25.2504	1900.00	75.25	7.38
10	4GD	4.65	4.62	21.4830	925.00	43.06	4.22
11	5GD	5.00	5.00	25.0000	1500.00	60.00	5.88
12	6GD	5.40	4.99	26.9460	1625.00	60.31	5.91





INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID
PROYECTO: TESIS "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACION DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

Tensión paralela a la fibra

No.	Identificación	A (cm)	B (cm)	Área A (cm ²)	Carga P (Kg)	Esfuerzo	
						Kg/cm ²	Mpa
1	1GA	0.65	0.87	0.5655	525.00	928.38	91.04
2	2GA	0.79	0.84	0.6636	450.00	678.12	66.50
3	3GA	0.55	0.80	0.4400	610.00	1386.36	135.96
4	4GA	0.64	0.83	0.5312	500.00	941.27	92.31
5	5GA	0.75	0.85	0.6375	560.00	878.43	86.15
6	6GA	0.70	0.87	0.6090	550.00	903.12	88.57
7	1GD	0.73	0.77	0.5621	475.00	845.05	82.87
8	2GD	0.60	0.96	0.5760	450.00	781.25	76.62
9	3GD	0.88	0.85	0.7480	350.00	467.91	45.89
10	4GD	0.52	0.65	0.3380	360.00	1065.09	104.45
11	5GD	0.65	0.95	0.6175	425.00	688.26	67.50
12	6GD	0.66	0.96	0.6336	425.00	670.77	65.78





INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID

PROYECTO: TESIS "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACION DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

Tensión perpendicular a la fibra

No.	Identificación	A (cm)	B (cm)	Área A (cm ²)	Carga P (Kg)	Esfuerzo	
						Kg/cm ²	Mpa
1	1GA	2.60	5.02	13.0520	425.00	32.56	3.19
2	2GA	2.61	5.05	13.1805	725.00	55.01	5.39
3	3GA	2.55	5.05	12.8775	575.00	44.65	4.38
4	4GA	2.54	4.95	12.5730	600.00	47.72	4.68
5	5GA	2.60	5.01	13.0260	525.00	40.30	3.95
6	6GA	2.55	5.05	12.8775	250.00	19.41	1.90
7	1GD	2.56	4.90	12.5440	425.00	33.88	3.32
8	2GD	2.64	5.06	13.3584	490.00	36.68	3.60
9	3GD	2.71	5.06	13.7126	450.00	32.82	3.22
10	4GD	2.60	4.60	11.9600	230.00	19.23	1.89
11	5GD	2.70	5.00	13.5000	510.00	37.78	3.70
12	6GD	2.66	5.02	13.3532	315.00	23.59	2.31





INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID
PROYECTO: TESIS "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACIÓN DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

Dureza

No.	Identificación	A (cm)	B (cm)	Área A (cm ²)	Dureza	
					Rad.	Tan.
1	1GA	5.05	5.05	25.5025	250.00	260.00
2	2GA	5.05	5.05	25.5025	285.00	265.00
3	3GA	5.05	5.05	25.5025	325.00	310.00
4	4GA	5.00	5.05	25.2500	375.00	325.00
5	5GA	5.05	5.02	25.3510	350.00	400.00
6	6GA	5.01	5.05	25.3005	225.00	275.00
7	1GD	5.01	4.90	24.5490	225.00	250.00
8	2GD	5.01	5.00	25.0500	235.00	250.00
9	3GD	5.08	5.01	25.4508	300.00	300.00
10	4GD	4.63	4.65	21.5295	350.00	325.00
11	5GD	4.95	5.00	24.7500	200.00	200.00
12	6GD	5.05	5.01	25.3005	225.00	225.00





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. 627-M

O.T. No. 28630

INTERESADO: CARLOS ENRIQUE GONZALEZ DEL CID
PROYECTO: TESIS "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA GMELINA ARBOREA ROXB (Melina) PARA RECOMENDACION DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

Clivaje

No.	Identificación	L (cm)	Carga P (Kg)	Esfuerzo Kg/cm
1	1GA	2.65	200.00	75.47
2	2GA	5.75	200.00	34.78
3	3GA	5.60	150.00	26.79
4	4GA	5.62	275.00	48.93
5	5GA	5.65	255.00	45.13
6	6GA	5.68	200.00	35.21
7	1GD	5.70	50.00	8.77
8	2GD	5.85	175.00	29.91
9	3GD	5.85	225.00	38.46
10	4GD	5.65	110.00	19.47
11	5GD	5.76	200.00	34.72
12	6GD	5.45	200.00	36.70



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12, Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100, Extensión: 1595

3. Reportes de los ensayos físicos

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA																											
		Nº 23755																										
		O. T. No. 28633 No. Informe Lab. 55-11																										
Interesado Carlos Enrique González del Cid																												
Muestra: 12 probetas de madera																												
Fecha: 22 de Julio de 2011																												
Determinación del porcentaje de Humedad al equilibrio y la contracción volumétrica de madera.																												
Tabla No. 3. Evaluación del porcentaje de Humedad al equilibrio																												
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"><thead><tr><th>Muestra</th><th>% Humedad</th></tr></thead><tbody><tr><td>1GA</td><td>14.1</td></tr><tr><td>2GA</td><td>14</td></tr><tr><td>3GA</td><td>13.9</td></tr><tr><td>4GA</td><td>13.9</td></tr><tr><td>5GA</td><td>13.9</td></tr><tr><td>6GA</td><td>13.9</td></tr><tr><td>1GD</td><td>13.8</td></tr><tr><td>2GD</td><td>13.8</td></tr><tr><td>3GD</td><td>13.8</td></tr><tr><td>4GD</td><td>13.7</td></tr><tr><td>5GD</td><td>13.7</td></tr><tr><td>6GD</td><td>13.9</td></tr></tbody></table>			Muestra	% Humedad	1GA	14.1	2GA	14	3GA	13.9	4GA	13.9	5GA	13.9	6GA	13.9	1GD	13.8	2GD	13.8	3GD	13.8	4GD	13.7	5GD	13.7	6GD	13.9
Muestra	% Humedad																											
1GA	14.1																											
2GA	14																											
3GA	13.9																											
4GA	13.9																											
5GA	13.9																											
6GA	13.9																											
1GD	13.8																											
2GD	13.8																											
3GD	13.8																											
4GD	13.7																											
5GD	13.7																											
6GD	13.9																											
 Ing. César Alfonso García Jefe Química Industrial CII/USAC																												
 Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales Directora Centro de Investigaciones de Ingeniería - USAC																												
 																												
<small>FACULTAD DE INGENIERIA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>																												



O. T. No. 28633
No. Informe Lab. 55-11

Interesado: Carlos Enrique González del Cid
Muestra: 12 probetas de madera
Fecha: 22 de Julio de 2011

Determinación del porcentaje de Humedad al equilibrio y la contracción volumétrica de madera.

Tabla No. 1. Evaluación de la contracción dimensional y volumetrica de madera

	Contracción	
1GA	Largo (mm)	0.63
	Ancho (mm)	1.58
	Alto (mm)	2.30
	Volumen (mm ³)	30554.53
2GA	Largo (mm)	0.57
	Ancho (mm)	1.62
	Alto (mm)	2.85
	Volumen (mm ³)	34754.88
3GA	Largo (mm)	0.47
	Ancho (mm)	2.56
	Alto (mm)	1.40
	Volumen (mm ³)	30621.13
4GA	Largo (mm)	0.24
	Ancho (mm)	1.20
	Alto (mm)	2.72
	Volumen (mm ³)	29895.18
5GA	Largo (mm)	0.25
	Ancho (mm)	1.88
	Alto (mm)	3.03
	Volumen (mm ³)	37114.31
6GA	Largo (mm)	0.21
	Ancho (mm)	2.14
	Alto (mm)	1.26
	Volumen (mm ³)	26012.20

Ing. César Alfonso García

Jefe

Química Industrial CII/USAC

Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora

Centro de Investigaciones de Ingeniería - USAC-

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—

Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12

Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121

Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



O. T. No. 28633
No. Informe Lab. 55-11

Interesado: Carlos Enrique González del Cid
Muestra: 12 probetas de madera
Fecha: 22 de Julio de 2011

Determinación del porcentaje de Humedad al equilibrio y la contracción volumétrica de madera.

Tabla No. 2. Evaluación de la contracción dimensional y volumétrica de madera

		Contracción
1GD	Largo (mm)	0.24
	Ancho (mm)	2.42
	Alto (mm)	1.29
	Volumen (mm ³)	28439.81
2GD	Largo (mm)	0.24
	Ancho (mm)	1.32
	Alto (mm)	1.29
	Volumen (mm ³)	20139.36
3GD	Largo (mm)	0.21
	Ancho (mm)	2.31
	Alto (mm)	1.75
	Volumen (mm ³)	30848.70
4GD	Largo (mm)	0.22
	Ancho (mm)	1.34
	Alto (mm)	1.27
	Volumen (mm ³)	18509.70
5GD	Largo (mm)	0.20
	Ancho (mm)	2.68
	Alto (mm)	2.90
	Volumen (mm ³)	42012.37
6GD	Largo (mm)	0.58
	Ancho (mm)	2.47
	Alto (mm)	1.97
	Volumen (mm ³)	34461.81

Ing. César Alfonso García
Jefe
Química Industrial CI/USAC

Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería - USAC-

