



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Estudio de propiedades físico mecánicas (corte y flexión) de la especie de madera tropical teca (*tectona grandis*) en el sistema de laminado pegado estructural

José Sediel Barreto Castañeda

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes

Maestría en Construcción

Bogotá D.C., Colombia

2013

Estudio de propiedades físico mecánicas (corte y flexión) de la especie de madera tropical teca (*tectona grandis*) en el sistema de laminado pegado estructural

José Sediél Barreto Castañeda

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Construcción

Director:

Magister en Construcción

Jorge Lozano Peña

Línea de Investigación:

Materiales constructivos

Grupo de Investigación:

Madera y Guadua - CIBAM

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes

Maestría en Construcción

Bogotá D.C., Colombia

2013

A mis padres, hermanos y familia, ya que son mi soporte fundamental para mi desarrollo personal y profesional

Resumen

En el país existen una gran variedad de especies de madera tropical o latifoliadas que no han sido estudiadas en el sistema de madera laminada pegada estructural, una de ellas es la teca, que por sus características físicas, presenta ventajas en comparación a las especies de coníferas que habitualmente se utilizan por la industria; por esto, con ensayos mecánicos de corte de MLPE en teca se verificaron que no existen problemas con la utilización de adhesivos estructurales utilizados para los laminados en madera, y por medio de pruebas de flexión se obtuvieron valores por encima de las resistencias admisibles de la normativa internacional, lo cual avalaría un posible uso de la teca en este sistema constructivo, lo que ampliaría las posibilidades , para que arquitectos y constructores colombianos utilicen la madera tropicales, no solamente para usos decorativos, si no que pueden ser elementos importantes dentro de las estructuras de edificaciones.

Palabras clave: Madera laminada pegada estructural, adhesivo, teca, latifoliada, conífera

Abstract

The country has a variety of species of tropical wood or broadleaf that have not been studied in the system of structural glued laminated timber, one is teak, which by their physical characteristics, advantages compared to conifers are commonly used by industry, and for this, with cutting mechanical tests teak Glulam checked that there are no problems with the use of structural adhesives used for wood laminates, and by testing flexural values were obtained by resistances above allowable international standards, which would support a possible use of teak in this construction system, which would increase the possibilities for architects and builders Colombian used tropical timber, not only for decorative purposes, but it can be important elements in building structures.

Keywords: Structural glued laminated timber, adhesive, teak, broadleaf, conifers

Contenido

| | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Resumen..... | VII |
| Lista de figuras | XI |
| Lista de tablas | XIII |
| Lista de Símbolos y abreviaturas | XV |
| Introducción | 1 |
| 1. Presentación del problema. | 3 |
| 2. Estado del arte. | 5 |
| 2.1 Generalidades de madera laminada pegada estructural | 5 |
| 2.2 Características de MLPE según la normativa internacional | 6 |
| 2.3 Investigaciones de MLPE de la Universidad Nacional de Colombia | 17 |
| 2.4 Elección de la especie a utilizar en la investigación | 19 |
| 2.5 Adhesivos para MLPE | 27 |
| 3. Propósitos de la investigación | 35 |
| 3.1 Objetivo general | 35 |
| 3.2 Objetivos específicos | 35 |
| 3.3 Metodología..... | 36 |
| 4. Desarrollo de la investigación..... | 41 |
| 4.1 Revisión de la normativa..... | 41 |
| 4.1.1 Revisión de la norma de contenido de Humedad..... | 41 |
| 4.1.2 Revisión de la norma de resistencia al corte de la línea de encolado. | 43 |
| 4.1.3 Revisión de la norma de resistencia al corte longitudinal de la línea de encolado. | 49 |
| 4.1.4 Revisión de la norma de resistencia a flexión de vigas de tamaño estructural. | 53 |
| 4.1.5 Maquinado y preparación de las piezas de madera. | 61 |
| 4.1.6 Contenido de humedad..... | 65 |
| 4.2 Determinación de la resistencia mecánica al corte de la línea de adhesivo..... | 71 |
| 4.3 Comportamiento de flexión de pequeñas probetas de MLPE en teca | 79 |
| 4.4 Resistencia a la flexión de vigas tamaño estructura de MLPE en teca | 83 |
| 4.5 Comparación de resultados | 95 |
| 5. Conclusiones y recomendaciones | 107 |
| 5.1 Conclusiones | 107 |
| 5.2 Recomendaciones..... | 111 |

| | | |
|----|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| A. | Anexo: Informe de pruebas de corte paralelo al grano | 113 |
| B. | Anexo: Informe de pruebas de corte en la línea de adhesivo | 119 |
| C. | Anexo: Informe de pruebas de flexión de pequeñas probetas | 123 |
| D. | Anexo: Informe de ensayo de flexión de vigas de tamaño estructural. | 159 |
| E. | Anexo: características de la especie teca | 167 |
| | Bibliografía | 173 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1-1: Puente Houten Krúsrak - Holanda | 3 |
| Figura 4-1: Probeta para ensayo de corte paralelo al grano..... | 44 |
| Figura 4-2: Probeta de ensayo de corte paralelo al grano en teca | 44 |
| Figura 4-3: Dimensiones en mm de probeta de ensayo de corte de la línea del adhesivo | 46 |
| Figura 4-4: Probeta de ensayo de corte en línea de adhesivo | 46 |
| Figura 4-5: Esquema de la máquina de la prueba de corte de la línea de adhesivo | 47 |
| Figura 4-6: Montaje de prueba de corte longitudinal por flexión..... | 50 |
| Figura 4-7: Esquema de ensayo a flexión para pequeñas probetas..... | 51 |
| Figura 4-8: Esquema de ensayo a flexión de vigas de tamaño estructural | 54 |
| Figura 4-9: Dimensiones de vigas de tamaño estructural para ensayo a flexión | 55 |
| Figura 4-10: Montaje de prueba de flexión de vigas de tamaño estructural | 57 |
| Figura 4-11: Esquema de arista faltante | 62 |
| Figura 4-12: Fotografía de pieza de la investigación con arista faltante..... | 62 |
| Figura 4-13: Esquema de nudo sano..... | 62 |
| Figura 4-14: Fotografía de pieza de la investigación con nudo sano | 62 |
| Figura 4-15: Esquema de Nudos arracimados | 63 |
| Figura 4-16: Fotografía de pieza de la investigación con nudos arracimados | 63 |
| Figura 4-17: Esquema de parénquima | 64 |
| Figura 4-18: Fotografía de pieza de la investigación con parénquima..... | 64 |
| Figura 4-19: Esquema de médula | 64 |
| Figura 4-20: Fotografía de pieza de la investigación con médula | 64 |
| Figura 4-21: Probetas en horno de convección | 66 |
| Figura 4-22: Probeta en balanza digital | 66 |
| Figura 4-23: Proceso de secado de probetas pequeñas | 70 |
| Figura 4-24: Proceso de secado al aire libre para lamelas de vigas de tamaño estructural | 70 |
| Figura 4-25: Probeta de corte paralelo al grano en teca | 71 |
| Figura 4-26: Montaje de Ensayo de corte paralelo al grano | 71 |
| Figura 4-27: Vista lateral e inferior de falla típica del ensayo de corte paralelo al grano en teca | 73 |
| Figura 4-28: Gráfica de dispersión de datos de corte paralelo al grano en teca | 74 |
| Figura 4-29: Maquinado y secado de lamelas para ensayo de corte en la línea de adhesivo | 74 |
| Figura 4-30: Prensado de probetas..... | 75 |
| Figura 4-31: Probeta para ensayo de corte en la línea del adhesivo | 75 |
| Figura 4-32: Dispersión de datos de resistencia al corte en la línea del adhesivo en teca | 77 |
| Figura 4-33: Dispersión de porcentajes de falla en la madera en el ensayo de corte en la línea del adhesivo | 78 |
| Figura 4-34: Imágenes de falla al corte en la línea del adhesivo en teca..... | 78 |
| Figura 4-35: Cepillado, encolado, prensado y maquinado de probetas para ensayo de corte longitudinal por flexión.... | 80 |
| Figura 4-36: Montaje de prueba de corte longitudinal por flexión..... | 80 |
| Figura 4-37: Gráfica de dispersión de valores de resistencia a flexión en prueba de corte longitudinal..... | 82 |
| Figura 4-38: Proceso de secado al aire libre piezas de teca..... | 84 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4-39: Fotografía de ensamble en seco de vigas en teca..... | 85 |
| Figura 4-40: Ensamble en seco viga 1 de teca en MLPE..... | 86 |
| Figura 4-41: Ensamble en seco viga 2 de teca en MLPE..... | 86 |
| Figura 4-42: Ensamble en seco viga 3 de teca en MLPE..... | 87 |
| Figura 4-43: Ensamble en seco viga 4 de teca en MLPE..... | 87 |
| Figura 4-44: Ensamble en seco viga 5 de teca en MLPE..... | 88 |
| Figura 4-45: Ensamble en seco viga 6 de teca en MLPE..... | 88 |
| Figura 4-46: Ensamble en seco viga 7 de teca en MLPE..... | 89 |
| Figura 4-47: Ensamble en seco viga 8 de teca en MLPE..... | 89 |
| Figura 4-48: Ensamble en seco viga 9 de teca en MLPE..... | 90 |
| Figura 4-49: Ensamble en seco viga 10 de teca en MLPE..... | 90 |
| Figura 4-50: Unión dentada con orientación paralela | 91 |
| Figura 4-51: Prensado de Viga MLPE en Teca | 92 |
| Figura 4-52: Montaje de la prueba de Flexión vigas tamaño estructural. | 93 |
| Figura 4-53: Gráfica de comparación de MOR de MLPE en teca, pino radiata, pino silvestre, pino Oregón, pino gallego | 97 |
| Figura 4-54: Gráfica de comparación de MOE de MLPE en teca, pino radiata, pino silvestre, pino Oregón, pino gallego | 97 |
| Figura 4-55: Comparación MOR entre MLPE en teca, Caracolí y Gmelina | 104 |
| Figura 4-56: Comparación MOE entre MLPE en teca, Caracolí y Gmelina | 104 |
| Figura 5-1: Comparación MLPE en teca, normativa chilena y normativa europea | 107 |
| Figura 5-2: Comparación MOR de MLPE en teca con diferentes especies y esfuerzos admisibles..... | 108 |
| Figura 5-3: Comparación MOE de MLPE en teca con diferentes especies y esfuerzos admisibles | 108 |
| Figura 5-4: Comparación de Resistencia al corte paralelo al grano y resistencia a la línea del adhesivo | 109 |
| Figura 5-5: Comparación de resistencia de la flexión en prueba de corte longitudinal | 110 |
| Figura 5-6: Comparación MOR de MLPE en teca y madera natural en teca | 110 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 2-1: Características de pino radiata | 7 |
| Tabla 2-2: Características de Pino silvestre | 9 |
| Tabla 2-3: Características de Abeto Douglas | 11 |
| Tabla 2-4: Características de Pino Gallego..... | 12 |
| Tabla 2-5: Clases resistente de madera laminada según normativa europea | 14 |
| Tabla 2-6: Tensiones básicas de MLPE en pino radiata según norma NCh 2165 | 15 |
| Tabla 2-7: Maderas tipo "ES1" MPa..... | 20 |
| Tabla 2-8: Maderas tipo "ES2" MPa..... | 21 |
| Tabla 2-9: Maderas tipo "ES3" MPa..... | 21 |
| Tabla 2-10: Maderas tipo "ES3" MPa..... | 22 |
| Tabla 2-11: Maderas tipo "ES5" MPa..... | 22 |
| Tabla 2-12: Maderas tipo "ES6" MPa..... | 23 |
| Tabla 2-13: Especies más Utilizadas en la Reforestación Comercial En Colombia | 23 |
| Tabla 2-14: Comparación entre Eucalipto, Roble y Teca | 24 |
| Tabla 2-15: Rendimiento por especies en Colombia Vs. Otros Países | 25 |
| Tabla 2-16: Tipos de adhesivos en madera para uso estructural y su adecuación con la clase de servicio | 29 |
| Tabla 2-17: Comparación entre adhesivos RPF y MUF | 31 |
| Tabla 4-1: Esquema de informe de laboratorio del ensayo de contenido de humedad | 42 |
| Tabla 4-2: Esquema de informe de laboratorio del ensayo de corte paralelo al grano | 45 |
| Tabla 4-3: Esquema de informe de laboratorio del ensayo de corte en línea de adhesivo..... | 48 |
| Tabla 4-4: Esquema de informe de laboratorio del ensayo de corte longitudinal por flexión | 52 |
| Tabla 4-5: Esquema de informe de laboratorio del ensayo de flexión de vigas de tamaño estructural. | 58 |
| Tabla 4-6: Cantidades de madera y adhesivo para la investigación | 60 |
| Tabla 4-7: Informe de laboratorio de contenido de humedad de las muestras | 67 |
| Tabla 4-8: Resumen de datos de ensayo de corte paralelo al grano en teca | 72 |
| Tabla 4-9: Resumen de datos de ensayo de corte en línea de adhesivo en teca | 76 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 4-10: Resumen de prueba de corte longitudinal por flexión | 81 |
| Tabla 4-11: Relación de Peso/Resistencia de materiales | 84 |
| Tabla 4-12: Resumen de valores de resistencia a flexión de MLPE en Teca | 94 |
| Tabla 4-13: Comparación de valores de resistencia de madera maciza en teca Vs MLPE en teca | 96 |
| Tabla 4-14: Cuadro comparativo entre MLPE en teca Vs especies utilizadas por la industria. | 97 |
| Tabla 4-15: Comparación de características físicas de la teca Vs Coníferas. | 99 |
| 4-16: Madera laminada encolada homogénea. Valores de las propiedades asociadas a cada clase resistente | 102 |
| 4-17: Porcentajes de aumento de resistencia de MLPE en teca Vs esfuerzos admisibles de normativa chilena y europea | 103 |
| Tabla 4-18: Comparación de MLPE en Teca Vs MLPE en caracolí y Gmelina Arborea | 104 |

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

| Símbolo | Término | Unidad SI | Definición |
|---------|----------------------------|-----------|--------------------------------------------|
| P | Carga de rotura | kgf | Figura 4-4 |
| L_s | Luz entre apoyos | cm | Figura 4-4 |
| a | Ancho de la probeta | cm | Figura 4-4 |
| h | Altura de la probeta | cm | Figura 4-4 |
| S_f | Esfuerzo a límite elástico | kg/cm^2 | $\frac{3P'a}{bh^2}$ |
| S_r | Módulo de rotura | kg/cm^2 | $\frac{3Pa}{bh^2}$ |
| E | Módulo de elasticidad | kg/cm^2 | $\frac{23P'h^3}{108bh^3\Delta}$ |
| P' | Carga al límite elástico | kgf | Ver pag. 54 |
| a | Distancia entre cargas | cm | Ver pag. 54 |
| b | Ancho de la viga | cm | Figura 4-7 |
| h | Alto de la viga | cm | Figura 4-7 |
| m_1 | Masa 1 | gr | Tabla 4-3 |
| m_2 | Masa 2 | gr | Tabla 4-3 |
| CH | Contenido de porcentaje | % | $\left(\frac{m_1 - m_2}{m_2}\right) * 100$ |

| Símbolo | Término | Unidad SI | Definición |
|----------------|--------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------|
| E_f | Módulo elástico aparente | kg/cm^2 | $\frac{P'a}{4bh^3\Delta}(3L^2 - 4a^2)$ |
| | Resistencia admisible a la flexión | | |
| $F_{b,f}$ | MLPE en radiata, según norma NCh 2165 | Mpa | Tabla 2-6 |
| | Resistencia admisible a la flexión MLPE, | | |
| $f_{m,g,k}$ | según Código técnico de la edificación de España | N/mm^2 | Tabla 2-5 |

Símbolos con letras griegas

| Símbolo | Término | Unidad SI | Definición |
|----------------|-----------------------------|------------------|-------------------|
| τ_m | Esfuerzo al corte | kg/cm^2 | $\frac{3P}{4bh}$ |
| Δ | Deformación límite elástico | cm | Ver pag 54 |

Abreviaturas

Abreviatura Término

| | |
|------|-------------------------------------|
| MLPE | Madera laminada pegada estructural |
| MUF | Melamina Urea Formaldehido |
| UF | Urea Formaldehido |
| RPF | Resorcina Fenol Formaldehido |
| IIT | Instituto Investigación Tecnológica |
| IEI | Instituto Extensión e Investigación |

Glulam Structural Glued Laminated Timber

Abreviatura Término

MOE Módulo elástico

MOR Módulo de rotura

Introducción

En los sistemas de madera laminada pegada estructural (MLPE), la industria utiliza habitualmente especies como las coníferas (pinos), este tipo de árboles alcanzan densidades básicas de 500kg/m^3 y su resistencia a la flexión es de aproximadamente 800 kg/cm^2 , con este sistema constructivo se han construido edificaciones con luces mayores de 100 metros de longitud.

La implementación de este sistema en Latinoamérica también utiliza pinos en la fabricación de sus elementos, es por esto que las investigaciones que se han realizado en nuestro país se han enfocado en demostrar, que con especies latifoliadas se pueden obtener iguales o mejores resultados que con especies utilizadas por la industria. Para esto se han utilizado árboles con densidades que oscilan entre los 400 y 500 kg/m^3 . En estas investigaciones se han encontrado excelentes resultados donde se han presentado mayores valores de resistencia.

Con esta investigación se propuso analizar el comportamiento de una especie de madera tropical con una densidad básica entre 500 y 700 kg/m^3 en el sistema de laminado pegado estructural. Para lograr este propósito y se debió escoger dentro este grupo, una sola especie, Teca (*tectona grandis*), su selección se basó en sus características físicas y la determinante de que es una especie reforestada.

Se plantearon las siguientes etapas: (1) determinación de los tipos de pruebas mecánicas tomando como referencia las normas NTC, (2) elaboración de las pruebas mecánicas para obtener la propiedades físico mecánicas (corte y flexión) en el sistema laminado pegado (3) comparación de las resistencias obtenidas con la norma UNE-EN y las investigaciones

realizadas en la Universidad Nacional de Colombia con especies tropicales y la especie pino radiata (*pinus Insignis*) el cual es el tipo de árbol más utilizado en la MLPE en Latinoamérica.

Para la investigación, y teniendo en cuenta la falta de normativa en Colombia acerca de los procesos de fabricación de MLPE, se utilizó la normativa chilena, NCh 2148-2006 (madera laminada encolada – requisitos e inspección), este documento se utilizó como guía para la elaboración de cada una de las probetas que se utilizaron para el desarrollo del trabajo de grado.

Para la selección de las diferentes pruebas mecánicas, se realizó una revisión de las normativas internacionales y nacionales acerca de ensayos mecánicos de maderas para estructuras; al final de este proceso se concluyó que las normas NTC eran las más adecuadas para la realización de los ensayos de laboratorio, teniendo en cuenta que estas normativas toman como base normas internacionales como las ASTM y las normas ISO.

Con la tabulación de los respectivos datos y luego de una comparación con el pino radiata y las especies utilizadas en la industria Europea, se pudo concluir que los laminados en Teca se encuentran dentro de las resistencias admisibles de la normativa internacional, lo que hace viable la utilización de esta especie en construcciones que utilicen madera laminada.

Al revisar los resultados obtenidos en esta investigación, con las tesis que se han desarrollado en la Universidad Nacional de Colombia, se ve la importancia de seguir investigando el uso de diferentes especies tropicales dentro de este sistema constructivo en madera; porque teniendo en cuenta la variedad de especies latifoliadas con que cuenta el país (y que no han sido todavía explorados), se puede conseguir una gran variedad de usos del sistema laminado pegado estructural en la industria de la construcción, por sus diferentes cualidades estéticas y estructurales.

1. Presentación del problema.

La madera laminada pegada estructural (MLPE) es un sistema que tiene gran importancia en países industrializados, esto se debe a que esta tecnología constructiva se ha convertido en una de las principales alternativas para edificaciones de grandes luces, porque con las técnicas del laminado se ha otorgado a la madera la capacidad de tener secciones y longitudes sin restricciones que naturalmente no se podrían conseguir. Esta gran ventaja que ofrece el sistema se acopla a las características naturales como su relación peso resistencia, su trabajabilidad y su factor estético, lo que lo convierte en un sistema de un gran potencial y uso en la actualidad.

En este sistema constructivo la industria utiliza habitualmente especies como las coníferas (pinos y abetos), esto es debido, a que el origen del sistema estructural se dió en países europeos de donde son nativos estas especies. Estas maderas pueden alcanzar densidades básicas de 500 Kg/m^3 y pueden tener módulos de elasticidad de 9000 MPa (91.771 kg/cm^2). Con el sistema de madera laminada en Europa se han alcanzado luces sin apoyos de más de 100 metros de longitud y se han construido puentes en autopistas en las que circulan camiones de carga pesada.

Figura 1-1: Puente Houten Krúsrak - Holanda



La implementación de la madera laminada en Latinoamérica también utiliza pinos en la fabricación de sus piezas, uno de los países de mayor desarrollo en el sistema es Chile donde se usa la especie denominada pino radiata; en Colombia, las empresas de MLPE han utilizado el pino pátula (*pinus pátula*). Uno de los principales motivos es su alta reforestación y su rápido crecimiento, otra ventaja que presentan estas especies son las similares características de densidad básica y resistencia con las especies utilizadas en Europa y Estados Unidos.

Las investigaciones que se han realizado en nuestro país como la del arquitecto Fernán Díaz o la Arquitecta Liliana Rosero, se enfocaron en demostrar que especies nativas tropicales pueden obtener iguales y hasta mejores resultados que las utilizadas por la industria actualmente, para esto se han utilizado especies de árboles tropicales con densidad básica similares a las coníferas europeas, con esta clase árboles se han obtenido buenos resultados, con mayores medidas de resistencia respecto a los pinos; algo importante de resaltar es que estas investigaciones han precisado que es importante realizar investigaciones con madera de mayor densidad para revisar realmente el potencial de las maderas tropicales.

La madera en su estado natural tiene la particularidad que su densidad básica está directamente relacionada con su resistencia, es por ésto que se puede afirmar que con mayor densidad se tiene mayores módulos elásticos (MOE) y mayores resistencias (MOR).Partiendo de lo anterior, el enfoque de la investigación tiene como fundamento, la necesidad de estudiar el comportamiento de maderas tropicales con densidades básicas superiores a 500 Kg/m^3 en el sistema de madera laminada pegada estructural. Por esta razón es importante analizar realmente el potencial que tienen maderas de mayor densidad que las utilizadas en la industria en esta tecnología constructiva, para buscar sus posibles campos de aplicación y así generar nuevas alternativas de aprovechamientos de maderas tropicales en la construcción.

2. Estado del arte.

2.1 Generalidades de madera laminada pegada estructural

La madera laminada es una tecnología constructiva con un amplio desarrollo en el mundo. Por esta razón se tienen definidos de manera general todos los conceptos y procesos sobre el sistema. Es por esto que como definición del sistema de MLPE se tomó la presentada por el ingeniero Vicente Pérez, "madera laminada es la unión de tablas a través de sus cantos, caras y extremos, con sus fibras en su misma dirección, conformando un elemento no limitado en escuadría ni en largo, y que funciona como una sola unidad estructural".(Pérez, 1992)

La anterior definición del sistema es la más apropiada, porque genera una diferencia con el sistema de tableros contrachapados (con el que generalmente suele confundirse); porque al igual que con la madera laminada en la elaboración de los tableros contrachapados se recurre también a adhesivos como medio de unión, con la diferencia que este sistema utiliza láminas de madera de 3 mm de espesor en lugar de tablas y estas láminas se organizan de tal forma que al final del proceso, el elemento tenga fibras en sus dos direcciones; lo cual genera elementos planos, que por sus características de sección no pueden utilizarse como sistemas de estructura principal en las construcciones sino como elementos de rigidización vertical y horizontal de una edificación en madera.

Existen diferentes clases de maderas laminadas, su clasificación depende básicamente de las uniones utilizadas, "si se realizan uniones de láminas de madera por medio de clavos se denomina madera laminada clavada, si se utilizan pernos se puede nombrar como madera laminada

pernada, y cuando las uniones se realizan por medio de colas o adhesivos, se llaman madera laminada encolada o pegada" (Pérez, 1992)

Hoy en día el sistema de unión de mayor utilización es por medio de adhesivos, por esta razón la investigación solamente evaluó el comportamiento estructural de la teca en uniones pegadas, teniendo en cuenta que las uniones clavadas y pernadas fueron los sistemas que antecedieron a MLPE y se ha visto restringido su uso a luces de poca longitud.

En el sistema de madera laminada, existen básicamente dos tipos de materiales. La madera como elemento principal, y el adhesivo que permiten la unión de las piezas en madera y generan que trabajen como un elemento monolítico. A continuación se presentarán las principales características de cada material.

2.2 Características de MLPE según la normativa internacional

Como se había mencionado durante la formulación del problema, las especies más utilizadas en Europa son las coníferas, a continuación se presentarán sus características físicas más importantes, las cuales se obtuvieron de una publicación de la Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera- AITIM(Guindeo, 2004) y que se citarán a continuación en orden a su densidad:

1) Pino radiata (*Pinus Insignis*). La madera de albura es de color blanco amarillento, que se oscurece con la luz de forma relativamente rápida, y el duramen tiene color pardo amarillento o pardo marrón. La madera de albura está poco o medianamente diferenciada. Los anillos de crecimiento son visibles y tienen un gran espesor (de 1 a 5 por centímetro). La fibra es recta. El grano varía de fino a medio.

La madera está clasificada según la norma (UNE-EN 350-2, 1995), como poco durable o no durable frente a la acción de los hongos y sensible a los cerambícidos, a los anóbidos y

a las termitas. La madera de duramen no es impregnable y la albura varía de medianamente impregnable a poco impregnable.

El aserrado se realiza sin dificultad y se pueden utilizar los equipos convencionales. Únicamente los árboles muy viejos o muy gruesos pueden requerir tecnologías especiales. Presenta buenas aptitudes para la obtención de chapa por desenrollo. La homogeneidad de la madera de verano y de primavera facilita la operación de desenrollo. Se mecaniza con facilidad, aunque en las proximidades de los nudos se pueden producir desfibrados.

Propiedades mecánicas

Densidad: 500 kg/m³

Resistencia a flexión estática: 874 kg/cm²

Módulo de elasticidad: 90.000 kg/cm²

Resistencia a la compresión: 434 kg/cm²

Fuente: (Guindeo, 2004)

Tabla 2-1: Características de pino radiata

| Características | Medición |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Impreg. Albura. | Impregnable (1) |
| Impreg. Duramen. | Medianamente impregnable (2) Poco impregnable (3) |
| Durabilidad frente a hongos | 4-5 |
| Durabilidad frente a anóbidos | SH |
| Durabilidad frente a hylotrúpes | S - Sensible |
| Durabilidad frente a termitas | S - Sensible |
| Calor Específico. (J/Kg·k) | 1600 |
| Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua | 20 |
| Conductividad Térmica. (W/mk) | 0,15 |

Fuente: <http://www.lignumfacile.es>

2) Pino silvestre (*Pinus sylvestris*). La madera de albura es de color amarillo pálido y el duramen es de color rojizo. La diferencia entre ambas zonas es más acusada en la sección transversal en las que se aprecian sus tonalidades diferentes. Los anillos de crecimiento están

muy marcados en la madera de verano y tienen un espesor de 1,5 a 3 mm. Este último dato se refiere a la madera procedente de España, pero varía según la procedencia. La fibra es recta. El grano puede ser fino o medio.

La madera está clasificada según la norma (UNE-EN 350-2, 1995), como poco durable, con gran diversidad de comportamiento, frente a la acción del hongo xilófago y sensible a los anóbidos, cerambícidos y termitas. La madera de albura es impregnable y la de duramen no es impregnable, en ambos casos presentan una gran diversidad de comportamiento.

El aserrado se realiza sin dificultad utilizando los equipos convencionales. Presenta buenas aptitudes para la obtención de chapas por desenrollo. Para facilitar el corte de los nudos en el desenrollo se recomienda realizar un vaporizado moderado (80°). El mecanizado no suele presentar problemas, aunque la mayor o menor facilidad de trabajo depende del tamaño y número de nudos y de la cantidad de resina que tenga. En el cepillado y en el moldurado deben utilizarse los útiles bien afilados, ya que es frecuente la aparición de una superficie ondulada con forma irregular originada por la variación de densidad de los crecimientos.

Propiedades mecánicas

Densidad: 510 kg/m³

Resistencia a flexión estática: 1057 kg/cm²

Módulo de elasticidad: 94.000 kg/cm²

Resistencia a la compresión: 406 kg/cm²

Fuente: (Guindeo, 2004)

Tabla 2-2: Características de Pino silvestre

| Características | Medición |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Impreg. Albura. | Impregnable (1) |
| Impreg. Duramen. | No impregnable (4) |
| Durabilidad frente a hongos | 3 - Medianamente durable y 4 - Poco durable |
| Durabilidad frente a anóbidos | S - Sensible |
| Durabilidad frente a hylotrupes | S - Sensible |
| Durabilidad frente a termitas | S - Sensible |
| Calor Específico. (J/Kg.k) | 1600 |
| Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua | 20 |
| Conductividad Térmica. (W/mk) | 0,15 |

Fuente: <http://www.lignumfacile.es>

3) Pino Oregón o Abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*). El color de la madera de albura varía del blanco al blanco crema o al blanco rojizo y el duramen varía considerablemente desde el amarillo o amarillo rojizo claro en los árboles con anillos de crecimiento estrecho hasta el rojo anaranjado o rojo oscuro en los árboles con anillos de crecimiento anchos. La madera de albura está claramente diferenciada. Los anillos de crecimiento están muy marcados por los cambios bruscos de color entre la madera de primavera y la de verano. Los radios leñosos son visibles en los cortes radiales. La fibra generalmente es recta, aunque también puede ser ondulada o en espiral. El grano varía de medio a basto o grueso.

Tiene canales resiníferos y numerosas bolsas de resina. La madera recién cortada tiene un olor característico a resina, pero distinto al de los pinos. Sus nudos suelen ser sanos y de gran diámetro. Su aspecto y sus características varían considerablemente en función de las condiciones de crecimiento y de procedencia (a veces se utiliza la denominación "yellow fir" para la madera que tiene un crecimiento más lento y los anillos más estrechos, y el "red fir" para la que tiene un crecimiento más rápido y los anillos más anchos), pero todos se comercializan con el mismo nombre. La madera procedente de las plantaciones de Europa presenta propiedades bastante diferentes. Es una madera ácida y

en medios o condiciones húmedas puede corroer los metales. Puede provocar irritaciones en la piel de algunas personas.

La madera está clasificada según la norma (UNE-EN 350-2, 1995), como medianamente durable o poco durable frente a la acción de los hongos y sensible a los cerambícidos, a los anóbidos y a las termitas. La madera de duramen no es impregnable y la de albura es medianamente impregnable o poco impregnable.

El aserrado se realiza sin dificultad, aunque la resina puede embotar ligeramente las sierras. Presenta buenas aptitudes para la obtención de chapa por. En el corte a la plana se recomienda realizar un vaporizado previo. El mecanizado no presenta dificultades, aunque los nudos saltadizos pueden originar problemas. Se recomienda trabajar con los útiles muy afilados. El mecanizado de la madera procedente de Europa es, en general, más difícil de trabajar debido a la gran presencia de nudos duros.

Propiedades mecánicas

Densidad: 530 kg/m^3

Resistencia a flexión estática: 860 kg/cm^2

Módulo de elasticidad: 128.000 kg/cm^2

Resistencia a la compresión: 525 kg/cm^2

Fuente: (Guindeo, 2004)

Tabla 2-3: Características de Abeto Douglas

| Características | Medición |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Impreg. Albura. | Poco impregnable (3) |
| Impreg. Duramen. | Poco impregnable (3) No impregnable (4) |
| Durabilidad frente a hongos | 3 - Medianamente durable |
| Durabilidad frente a anóbidos | S - Sensible |
| Durabilidad frente a hylotrupes | S - Sensible |
| Durabilidad frente a termitas | S - Sensible |
| Calor Específico. (J/Kg.k) | 1600 |
| Factor de resistencia a la difusión del vapor de | 20 |
| Conductividad Térmica. (W/mk) | 0,15 |

Fuente: <http://www.lignumfacile.es>

4) Pino Gallego (*Pinus pinaster*). El color de la madera de albura es blanco amarillento y el duramen varía del amarillo naranja al rojo asalmonado. La madera de albura está claramente diferenciada. Los anillos de crecimiento son visibles y presentan un fuerte contraste entre la madera de primavera y la de verano. La fibra es recta. El grano varía de medio a basto o grueso. Presenta numerosos canales resiníferos y la madera suele estar muy impregnada de resina, que le confiere un color rojizo. También presenta numerosos nudos, que pueden tener grandes diámetros.

La madera está clasificada según la norma (UNE-EN 350-2, 1995), como medianamente o poco durable frente a la acción de los hongos y sensible a los cerambícidos, a los anóbidos y a las termitas. La madera de albura es muy sensible al azulado. La madera de duramen no es impregnable y la de albura es impregnable.

El aserrado es fácil, aunque la presencia de resina puede embotar las sierras y provocar su calentamiento. Se recomienda aumentar el ancho de la vía de la sierra y el paso entre dientes para facilitar la evacuación de la madera con resina y tomar las precauciones habituales correspondientes al aserrado de maderas muy resinosas. Presenta buenas aptitudes para la obtención de chapa por desenrollo y se recomienda un vaporizado previo a 85° C, para reducir la dureza de los nudos. El mecanizado es relativamente fácil,

pero la abundancia de nudos puede producir desfibrados y la presencia de resina puede embotar los útiles. Se recomienda limpiar frecuentemente las cadenas de alimentación y los útiles con disolventes para evitar las acumulaciones de resina, y utilizar ángulos de ataque de 25° que evitarán que se rompan los nudos.

Propiedades mecánicas

Densidad: 530 kg/m³

Resistencia a flexión estática: 795 kg/cm²

Módulo de elasticidad: 74.000 kg/cm²

Resistencia a la compresión: 400 kg/cm²

Fuente: (Guindeo, 2004)

Tabla 2-4: Características de Pino Gallego

| Características | Medición |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Impreg. Albura. | Impregnable (1) |
| Impreg. Duramen. | No impregnable (4) |
| Durabilidad frente a hongos | 3 - Medianamente durable y 4 - Poco durable |
| Durabilidad frente a anóbidos | S - Sensible |
| Durabilidad frente a hylotrupes | S - Sensible |
| Durabilidad frente a termitas | S - Sensible |
| Calor Especifico. (J/Kg.k) | 1600 |
| Factor de resistencia a la difusión del vapor de | 20 |
| Conductividad Térmica. (W/mk) | 0,15 |

Fuente: <http://www.lignumfacile.es>

En las anteriores descripciones de las especies utilizadas por la industria, se puede extraer, que todas las especies no presentan problemas aserrado y mecanizados lo que significa que tienen una buena trabajabilidad; la gran mayoría de estas especies contienen resinas naturales pero que no afectan el encolado, aunque hay grandes diferencias en impregnación entre el duramen y albura; la durabilidad es medianamente o poco durable al ataque de hongos e insectos lo que

requiere la utilización de perseverantes o inmunizantes para el uso en construcción; en términos generales estas especies tienen muchos nudos pero en su gran mayoría sanos.

Un gran adelanto que presenta MLPE en Europa, es la alta normalización que tiene este tipo de estructuras. Una de las principales normas es UNE EN 1149 del año de 1999 y de vigencia actual. Las principales características de esta norma son: determinar las clases de resistencia y sus valores característicos, suministra información sobre sus valores de resistencia a la flexión, a tracción a compresión y a cortante y fija los valores de módulos de elasticidad y la densidad básica.

En un artículo de la revista AITIM (Fernández, 2003) se explica la nomenclatura y los tipos de clasificación que da la norma y los cuales se citarán a continuación:

La nomenclatura de las clases de resistencia en madera laminada es distinta a la considerada en la madera sólida (UNE EN 338) ya que en este caso todas las clases de resistentes (cualquiera que sea la familia del producto) empiezan con las letras GL, van seguidas de dos números indicativos de la clase y que informan sobre la resistencia característica a la flexión (MOR) del material (expresada en N/mm^2) y finalizan bien por una h (minúscula) o una c (minúscula), que informa si la estructura es homogénea (la sección transversal de la pieza está construida con láminas de la misma calidad y especie) o combinada (toda la sección transversal de la pieza construida con láminas de distintas calidades y/o especies) de esta manera existen dos clases, denominadas genéricamente GLxxh y GLxxc, donde las x pueden ser sustituidos por cuatro posibles números (24, 28, 32 y 36).

Tabla 2-5: Clases resistente de madera laminada según normativa europea

| Propiedades | | clase resistente homogénea | | | | clase resistente combinada | | | |
|-----------------------------------|--------------|----------------------------|-------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|
| | | GL24h | GL28h | GL32h | GL36h | GL24c | GL28c | GL32c | GL36c |
| Resistencia, en N/mm ² | | | | | | | | | |
| Flexión | f m.g.k | 24 | 28 | 32 | 36 | 24 | 28 | 32 | 36 |
| Tracción paralela | f t.0.g.k | 16.5 | 19.5 | 22.5 | 26 | 14 | 16.5 | 18.5 | 22.5 |
| Tracción perpendicular | f t.90.g.k | 0.4 | 0.45 | 0.5 | 0.6 | 0.35 | 0.4 | 0.45 | 0.5 |
| Compresión paralela | f c.0.g.k | 24 | 26.5 | 29 | 31 | 21 | 24 | 26.5 | 29 |
| Compresión perpendicular | f c.90.g.k | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 3.6 | 2.4 | 2.7 | 3.0 | 3.3 |
| Cortante | f v.g.k | 2.7 | 3.2 | 3.8 | 4.3 | 2.2 | 2.7 | 3.2 | 3.8 |
| Rigidez, en kN/mm ² | | | | | | | | | |
| MOE paralelo medio | E 0.g.medio | 11.6 | 12.6 | 13.7 | 14.7 | 11.6 | 12.6 | 13.7 | 14.7 |
| MOE paralelo 5° percentil | E 0.g.k | 9.4 | 10.2 | 11.1 | 11.9 | 9.4 | 10.2 | 11.1 | 11.9 |
| Módulo transversal medio | E 90.g.medio | 0.39 | 0.42 | 0.46 | 0.49 | 0.32 | 0.39 | 0.42 | 0.46 |
| MOE perpendicular medio | G g.medio | 0.72 | 0.78 | 0.85 | 0.91 | 0.59 | 0.72 | 0.85 | 0.85 |
| Densidad, en kg/m ³ | | | | | | | | | |
| Densidad característica | r g.k | 380 | 410 | 430 | 450 | 350 | 380 | 410 | 430 |

Fuente: (Ministerio de Vivienda - España, 2003)

De la anterior tabla se puede obtener las siguientes conclusiones fundamentales sobre las maderas coníferas utilizadas por la industria europea:

1. La máxima resistencia a la flexión que se puede obtener es de 36 N/mm² (367 kg/cm²)
2. El máximo módulo de elasticidad paralelo a la fibras es de 14.7 kN/mm² (149.000 kg/cm²)
3. La máxima densidad característica es de 450 Kg/m³

Una parte de la investigación se basó en la comparación de los resultados esperados con las pruebas mecánicas para esto se compararon los datos encontrados con la clasificación que presenta la norma europea ya que son registros estandarizados y de uso actual en la industria Europea.

En la industria latinoamericana, el país de mayor desarrollo es Chile, la especie que utilizan se denomina pino radiata (*Pinus insignis*), el desarrollo de investigación y producción es tan alto que dentro de la normativa técnica chilena (NCh) existe una gran variedad de normas que dan pautas

para la utilización de este tipo de especie dentro de MLPE, una de las principales normas es la Nch 2148-2006 (madera laminada encolada – requisitos e inspección) es esta norma tiene como objeto definir los requisitos mínimos de producción de MLPE, este documento fue de gran importancia dentro de la investigación porque se utilizó como base en el proceso de fabricación de probetas, teniendo en cuenta la falta de normativa que se tiene al respecto en Colombia.

Otra norma chilena de importancia, y la cual sirve como punto de comparación es la Nch 2165-1991 (tensiones admisibles para madera laminada encolada estructural de pino radiata) dentro de este documento al igual que la norma europea se denominan las tensiones básicas para MLPE en pino radiata, a continuación se muestra la tabla extraída de la norma donde se presenta dichos datos.

Tabla 2-6: Tensiones básicas de MLPE en pino radiata según norma NCh 2165

| Grado I | Flexión respecto eje X-X | | | | |
|------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | Laminación horizontal Carga normal a las caras de las laminas | | | | |
| | Flexión F b.f MPa | Cizalle F b.c.z MPa | Tracción normal F b.tn MPa | Compresión normal F b.cn MPa | MOE E L.b.x MPa |
| A | 19 | 1.3 | 0.43 | 2.8 | 11,000 |
| B | 19 | 1.3 | 0.43 | 2.8 | 9,000 |
| Grado I | Flexión respecto eje Y-Y | | | | |
| | Laminación vertical Carga paralela a las caras de las laminas | | | | |
| | Flexión F b.f MPa | Cizalle F b.c.z MPa | Tracción normal F b.tn MPa | Compresión normal F b.cn MPa | MOE E L.b.y MPa |
| A | 19 | 1.08 | 0.36 | 2.8 | 10,000 |
| B | 14 | 1.08 | 0.36 | 2.8 | 8,000 |

| | | | |
|------------|------------------------|----------------------|--------------|
| Grado I | Carga axial | | |
| | Compresión paralela | Tracción paralela | MOE |
| | F b.cp MPa | F b.tp MPa | E L.b MPa |
| A | 13 | 9.3 | 10,000 |
| B | 13 | 6.3 | 8,000 |

Fuente: (NCh 2165, 1991)

Nota: los grados A y B corresponde a la madera aserrada usada en la fabricación de las láminas, clasificadas según NCh2150.

El principal motivo de elegir también la especie pino radiata como referencia de comparación con la MLPE en teca desde el punto de vista de resistencia es: por la cercanía geográfica con nuestro país, por el alto nivel de estudio que tiene la especie, porque a nivel internacional como la normativa europea el pino radiata es una de las especies que se recomiendan para la fabricación de MLPE.

La falta de normativa técnica en Colombia acerca de tensiones básicas de madera laminada, aunque se presentan los métodos de pruebas de resistencia y caracterización físico mecánicas (traducción de normas ASTM) no hay una norma que indique principios y requisitos mínimos de tolerancias y resistencias y porque en nuestro país algunas empresas (Homecenter y Arauco) ya se encuentran en procesos de importación de pino radiata lo cual hace más factible su consecución en el mercado colombiano de las maderas europeas o norteamericanas.

2.3 Investigaciones de MLPE de la Universidad Nacional de Colombia

En la investigación también se propuso realizar la comparación de los resultados obtenidos con las tesis sobre madera laminada que se han desarrollado en la universidad, dentro de estos proyectos se resaltan dos trabajos, uno realizado por la arquitecta Liliana Rosero trabajo de grado para obtener el título de arquitectura y el trabajo del arquitecto Fernán Díaz tesis para obtener el título de magister en construcción en madera, a continuación se describirán de manera general los resultados de las investigaciones.

El trabajo de grado desarrollado por la arquitecta Liliana Rosero se tituló Estructuras Laminadas con maderas tropicales, el propósito de esta investigación fue demostrar mediante experimentación y pruebas de laboratorio la utilización de especies latifoliadas en el sistema laminado pegado estructural, para esto se planteó utilizar una especie de madera tropical con similar densidad básica al pino radiata y pino pátula, con la cual se compararían los resultados encontrados, por esto se planteó escoger la especie del estudio con la clasificación de maderas en la NSR 98 (norma vigente en el tiempo de la investigación) tipo D y B con densidades menores a 500 kg/m^3 .

Luego de realizar una búsqueda bibliográfica sobre estudio de maderas tropicales y de consultas con el sector maderero en la ciudad de Bogotá la arquitecta Liliana planteó el uso de la especie Caracolí (*Anacardium excelsum*) con una densidad básica de 340 kg/m^3 , y clasificada por la NSR 98 tipo D. Otro punto importante dentro de la investigación de este trabajo de grado fue la elección de adhesivo a utilizar, con la ayuda de empresas que suministran productos químicos, la arquitecta decidió la utilización del adhesivo urea formaldehído (UF) para realizar las pruebas de laboratorio.

Dentro de la pruebas de laboratorio realizadas dentro de esta investigación se plantearon: pruebas de 32 probetas a corte paralelo basada en la norma ASTM D 143-94, prueba de 32 probetas a corte de la línea de adhesivo basada en la norma ASTM D 905-96, prueba de 5

probetas a corte longitudinal de la línea de adhesivo por esfuerzo a flexión y prueba de 3 probetas a rotura por flexión.

Dentro de esta investigación la arquitecta Liliana obtuvo los siguientes resultados, resistencia a la línea de corte de adhesivo 48 kg/cm^2 , resistencia a corte longitudinal 58.63 kg/cm^2 y la resistencia a la flexión 426.02 kg/cm^2 . Dentro de esta investigación la autora realizó la comparación con las especies de pino radiata y pino pátula y aunque la resistencia al corte fueron menores, la resistencia a la flexión del caracolí superó en 2.46 veces la resistencia del pino pátula y 1.7 veces al pino radiata, teniendo en cuenta la menor densidad de la especie caracolí, dentro de las conclusiones de este estudio como lo menciona la arquitecta Liliana "si bien los esfuerzos de corte en las probetas son relativamente altos, los máximos de flexión en la vigas son marcadamente bajos, en relación al caracolí. Esto se explica por la cantidad de nudo y su tamaño, características de las coníferas y particularmente del pino pátula, que si bien se le suprimen los defectos más notables, mediante el finger joint, no se pueden materialmente retirarlos todos"(Rosero, 1998)

Otra investigación de maderas latifoliadas que se ha realizado en la Universidad Nacional de Colombia es la realizada por el arquitecto Fernán Díaz, este trabajo titulado Maderas tropicales en la fabricación de laminado encolado estructural, utilizó la especie denominada Melina, Yemaní o Gumari (*Gmelina arborea*) con una densidad básica de 460 kg/m^3 , por condiciones de resistencia a la humedad el adhesivo utilizado fue el Fenol resorcinol, este trabajo de grado para obtener el título de magister en construcción de madera de la Universidad Bio-Bio en Chile tenía como propósito: "iniciar un estudio sistemático que permita demostrar el potencial que tienen las maderas tropicales para la producción de madera laminada encolada estructural"(Díaz, 2002)

Teniendo en cuenta que la investigación se planteó para obtener un título de magister en Chile el arquitecto Fernán Díaz adoptó la normativa francesa para la realización de la pruebas, las cuales son mas similares a la normativa chilena, la pruebas realizadas en esta investigación fueron: prueba de 20 probetas a cizallamiento de plano de encolado basado en la norma NF B 51032, prueba de 20 probetas a tracción en el finger joint de acuerdo a la norma NF B 51022, prueba de

20 probetas de flexión circular de la unión finger joint con la norma NF B 51021 y prueba de 5 vigas para el ensayo de flexión.

Con los anteriores ensayos de laboratorio, dentro de esta investigación se entregaron los siguientes resultados: esfuerzo medio de la prueba de tracción del finger joint 22.6 MPa (230 kg/cm²), esfuerzo de flexión circular de los finger joint 22.25 MPa (226 kg/cm²), y esfuerzo a rotura por flexión 46.5 MPa (474 kg/cm²).

Con los resultados obtenidos se encontró una resistencia a la rotura del Gmelinaí en el laminado encolado estructural 2.6 veces más que el pino pátula utilizado en Colombia y 3.3 veces más que el pino Taeda utilizado en Uruguay, con esto el arquitecto Fernán comenta en su documento: "Los resultados obtenidos demuestran, por otra parte, que frente a la producción industrial actual, de Laminado estructural, que se viene haciendo con Pino Pátula, la alternativa de la Gmelina es muy interesante, implicando una ganancia significativa en la capacidad portante, dado que su esfuerzo de flexión a rotura, es más del doble, que el obtenido con el pino Pátula."(Díaz, 2002)

Estos dos trabajos son de importancia para el desarrollo de la investigación porque demostraron que con maderas tropicales de densidades similares a las coníferas se pueden obtener mayores resistencias en relación a las maderas utilizadas por la industria, además sirven como punto de comparación de los resultados que se obtendrán con la especie Teca en MLPE, adicional a la información que se tiene como referencia de la normativa europea y chilena.

2.4 Elección de la especie a utilizar en la investigación

Se tomó como modelo, el planteado en las anteriores investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia para abordar la elección de la especie de madera, por esto como primer paso dentro de la investigación se realizó una revisión bibliográfica de especies de maderas tropicales que ya se encontraran estudiadas en el país desde el punto de vista de madera en su estado natural,

teniendo en cuenta que es más fácil utilizar especies donde se conocen sus valores de resistencia y densidades.

Para este fin se utilizó la actualización de la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10, la cual, en el título G (Estructuras en madera y estructuras en guadua), hace una "Selección de maderas en los grupos ES , ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6, de acuerdo con los valores de módulo de elasticidad MOE y esfuerzos de 75 maderas estudiadas por el SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE-SENA- , Regional Antioquia – Chocó y Universidad Nacional de Colombia y 178 maderas en estudios compilados por el Profesor J. A. Lastra Rivera, U. Distrital; Libro Técnico No. 1 Asociación Colombiana de Ingenieros Forestales -ACIF. Bogotá 1986"(NSR-10, 2010, págs. G-137).

Tabla 2-7: Maderas tipo "ES1" MPa

| No | Nombre científico | Nombre vulgar | Densidad | MOE | Flexión |
|----|--------------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| 1 | DIPTERYX OLEIFERA | CHOIBA | 0.850 | 23,300 | 29.6 |
| 2 | MYROXYLON BALSAMUN | BALSAMO | 0.810 | 19,160 | 29.9 |
| 3 | LICANIA SP. | AMBUREPICHANGILLO | 0.766 | 23,100 | 32.5 |
| 4 | PLTYMISCIMUM PINNATUM | GUAYACAN TREBOL | 0.780 | Nota 1 | 37.7 |
| 5 | PELTOGYNE PORPHYROCORDIA | NAZARENO | 0.890 | 19,900 | 29.6 |
| 6 | ESCHWEILERA PITTIERI | COCO MANTECO | 0.744 | 21,700 | 31.9 |
| 7 | LECYTHIS SP | COCO MONO | 0.751 | Nota 1 | 34.0 |
| 8 | TRIGONIASTRUM SP | MARFIL | 0.769 | Nota 1 | 34.2 |
| 9 | LAGERTROEMIA SP | PUNTECASCARILLO | Nota 1 | 19,000 | 31.2 |
| 10 | XYLOPIA SP | YAYA BLANCA | 0.763 | Nota 1 | 39.7 |

Tabla 2-8: Maderas tipo "ES2" MPa

| No | Nombre científico | Nombre vulgar | Densidad | MOE | Flexión |
|----|----------------------------|--------------------|----------|--------|---------|
| 1 | CLATHROTROPIS BRACHYPETALA | SAPAN | 0.820 | 24,600 | 33.3 |
| 2 | TUBEBUIA SERRATIFOLIA | GUAYACAN, POLVILLO | 0.920 | 22,100 | 29.6 |
| 3 | HUMIRIA BALSAMIFERA | OLOROSO | 0.680 | 19,500 | 28.7 |
| 4 | GOUPIA GLABRA | PIAUNDE | 0.679 | 22,100 | 29.5 |
| 5 | HELICOSTYLIS TOMENTOSA | LECHE PERRA | 0.714 | Nota 1 | 32.4 |
| 6 | MANILKARA BIDENTATA | BALATANISPERILLO | 0.870 | 24,300 | 31.8 |
| 7 | HETEROSTENON VAGELERI | GUAMO ROSADO | 0.719 | Nota 1 | 31.9 |
| 8 | POUTERIA SP | CAIMO | 0.810 | 21,500 | 29.0 |
| 9 | POUTERIA SP | PUNTE AMARILLO | 0.686 | Nota 1 | 28.6 |
| 10 | ESCHWEILERA SP | TETE CONGO | 0.728 | 24,500 | 32.8 |
| 11 | POUTERIA SP | PIASTE CAIMITO | 0.754 | 25,600 | 35.2 |
| 12 | LICANIA SP | AMBURE CUEROSAPO | 0.759 | 24,100 | 35.0 |

Tabla 2-9: Maderas tipo "ES3" MPa

| No | Nombre científico | Nombre vulgar | Densidad | MOE | Flexión |
|----|---------------------------|-----------------|----------|--------|---------|
| 1 | HYMENAEA COURMARIL L | ALGARROBO | 0.770 | 16,300 | 25.2 |
| 2 | ASPIDOPERMA DUGANDI STAND | CARRETO | 0.770 | 16,800 | 29.0 |
| 3 | AGONANDRA BRASILIENSIS | CAIMANCILLO | Nota 1 | 15,300 | 31.5 |
| 4 | ANDIRA SP | CAÑABRAVO | 0.657 | Nota 1 | 25.7 |
| 5 | ANDIRA SP | PALO PALMA | 0.630 | 17,800 | 23.0 |
| 6 | APULEIA SP | MAQUI | 0.680 | Nota 1 | 27.4 |
| 7 | CONCEVEIBA GUIANENSE | CASACO | 0.613 | Nota 1 | 25.2 |
| 8 | DACRYODES CANALENSIS AUBL | ANIME INCIENSO | 0.594 | Nota 1 | 25.6 |
| 9 | EUGENIA SP | COMITURE | 0.754 | Nota 1 | 26.8 |
| 10 | DIALIUM GUIANENSE | TAMARINDO | 0.880 | 17,500 | 31.9 |
| 11 | HUMIRIASTRUM COLOMBIANUM | ACEITUNO ROJO | 0.690 | Nota 1 | 26.1 |
| 12 | OCOTEA SP | CASCARILLO | 0.655 | Nota 1 | 24.6 |
| 13 | ORMOSIA SP | PALMILLO | 0.716 | 20,100 | 30.8 |
| 14 | PIPTADENIA SPECIOSA | GUACAMAYO | Nota 1 | 14,100 | 25.0 |
| 15 | STERCULIA CARIBAEA | VARA DE INDIO | 0.760 | 22,300 | 29.9 |
| 16 | SWARTZIA SP | GUAMILLO | 0.630 | 14,100 | 24.7 |
| 17 | CHLOROPHORA TINCTORIA | DINDE PALO MORA | 0.710 | 15,200 | 23.4 |
| 18 | TERMINALIA SP | AGUAMIEL | 0.650 | 19,200 | 26.6 |
| 19 | SACOGLOTIS SPROSARA | CHANUL | 0.690 | 18,300 | 24.4 |
| 20 | GOUPIA GLABRA | CHAQUIRO ZAINO | 0.691 | 15,060 | 21.5 |
| 21 | PSEUDOLMEDIA SP | LECHEVIVA | 0.663 | 16,700 | 23.7 |
| 22 | MABEA AFF. BIGLANDULOSA | TINGUI -TINGUI | 0.570 | 18,200 | 24.6 |

Tabla 2-10: Maderas tipo "ES3" MPa

| No | Nombre científico | Nombre vulgar | Densidad | MOE | Flexión |
|----|----------------------------|--------------------|----------|--------|---------|
| 1 | CARINIANA PYRIFORMIS MIERS | ABARCO | 0.550 | 13,200 | 17.1 |
| 2 | CALOPHYLLUM MARIAE | ACEITE MARIA | 0.460 | 16,400 | 19.6 |
| 3 | MORA MEGISTOSPERNA | NATO ALCORNOQUE | 0.630 | 15,500 | 21.0 |
| 4 | TERMINALIA AMAZONIA | GUAYABO PALOPRIETO | 0.650 | 14,000 | 20.2 |
| 5 | MINQUARTIA GUIANENSIS AUBL | PUNTE CANDADO | 0.760 | 17,100 | 26.3 |
| 6 | ASTRONIUM GRAVEOLENS | DIOMATE GUSANERO | 0.870 | 15,300 | 19.9 |
| 7 | CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM | GUAYABO COLORADO | 0.740 | 16,200 | 21.8 |
| 8 | CENTROLOBIUM PARAENSE | GUAYACAN HOBO | 0.580 | 15,000 | 21.7 |
| 9 | ANIBA PENUTILIS | CACHAJO COMINO | 0.492 | 12,500 | 18.7 |
| 10 | CLARISIA RACEMOSA | AJI | 0.570 | 16,600 | 21.0 |
| 11 | CHLOROPHORA TINCTORIA | MORITO | Nota 1 | 13,500 | 24.8 |
| 12 | DENDROBANGIA SP | CHONTADURILLO | 0.620 | 16,600 | 19.8 |
| 13 | HIERONYMACHOCOENSIS | CARGAMANTO | 0.548 | Nota 1 | 21.3 |
| 14 | HIMATANTHUS ARTICULATA | PERILLO BLANCO | 0.526 | Nota 1 | 20.1 |
| 15 | MORA MEGISTOSPERMA | NATO | 0.635 | 15,500 | 21.0 |
| 16 | PIPTADENIA RIGIDA | HEDIONDO | 0.630 | 17,500 | 23.1 |
| 17 | MATISIA SP | SARE | 0.572 | 17,700 | 21.3 |
| 18 | HIERONYMA SP | PANTANO | 0.627 | 12,600 | 19.0 |
| 19 | PROTIUNNEGLECTUM | ANIME | 0.640 | 16,600 | 24.2 |
| 20 | VOCHYSIA SP | PALO SANTILLO | 0.680 | 18,000 | 27.2 |
| 21 | XYLOPIA EMARGINATA | ESCOBILLO | 0.590 | 21,300 | 27.4 |
| 22 | ESCHWEILERA SP | TETE BLANCO | 0.580 | 17,600 | 24.3 |
| 23 | TAPURA SP | BIJO REDONDO | 0.560 | 15,100 | 20.0 |

Tabla 2-11: Maderas tipo "ES5" MPa

| No | Nombre científico | Nombre vulgar | Densidad | MOE | Flexión |
|----|----------------------------|------------------|----------|--------|---------|
| 1 | CLARISIA RACEMOSA | MORA AJI | 0.460 | 11,400 | 15.1 |
| 2 | PENTACLETHRA MACROLOBA | DORMILÓN | 0.430 | 13,500 | 16.5 |
| 3 | SYMPHONIA GLOBULIFERA | MACHARE | 0.580 | 17,200 | 24.7 |
| 4 | EUCALYPTUS GLOBULUS | EUCALIPTO | 0.550 | 13,800 | 17.7 |
| 5 | ERISMA UNCINATUM | FLOR MORADO | 0.470 | 11,500 | 14.8 |
| 6 | COPAIFERA OFFICINALIS | COPAIBA | 0.600 | 12,300 | 15.4 |
| 7 | CARAPA GUIANENSIS | GUIÑO TANGARE | 0.490 | 12,700 | 17.3 |
| 8 | HYEROMINA LAXIFLORA | CHUGUACA PANTANO | 0.550 | 12,100 | 17.6 |
| 9 | BEILSCHLUMEDIA SP | ACEITUNO | 0.610 | 12,000 | 22.1 |
| 10 | BRASILETTIA MOLLIS | YAGUARO | | 11,900 | 23.0 |
| 11 | CASEARIA OFFSILVESTRIS | GENEME ESCOBO | 0.590 | 11,200 | 15.8 |
| 12 | CLARISEA RACEMOSA | ARRACACHO | 0.520 | 14,500 | 19.5 |
| 13 | COURATARI GUIANENSIS | COCO CABUYO | 0.540 | 14,400 | 19.1 |
| 14 | ORMOSIA SP | ALGODONCILLO | 0.518 | 17,800 | 19.2 |
| 15 | PLATYMISCIUM POLYSTACHYWIL | CORAZON FINO | Nota 1 | 11,200 | 21.3 |
| 16 | POUNTERIA SP | MEDIACARO | 0.630 | 11,800 | 23.9 |
| 17 | TABEBUÍA ROSEA | ROBLE FLORMORADO | 0.540 | 12,400 | 18.3 |

Tabla 2-12: Maderas tipo "ES6" MPa

| No | Nombre científico | Nombre vulgar | Densidad | MOE | Flexión |
|----|---------------------------|---------------------|----------|--------|---------|
| 1 | PINUS PATULASCHLECHT | PINO PATULA | 0.430 | 10,000 | 12.6 |
| 2 | TECTONA GRANDIS | TECA | 0.530 | 10,800 | 16.7 |
| 3 | QUARARIBEA ASTEROLEPSIS | PUNULA | 0.450 | 10,700 | 12.7 |
| 4 | SAMANEA SAMAN | SAMAN | 0.490 | 9,400 | 13.0 |
| 5 | EUCALIPTUS SALIGNA | EUCALIPTO SALIÑA | 0.400 | 11,100 | 13.1 |
| 6 | PODOCARPUS OLEIFOLIUS | PINO CHAQUIRO | 0.440 | 8,700 | 13.0 |
| 7 | PINUS RADIATA DON | PINO RADIATA COLOMB | 0.390 | 11,000 | 13.2 |
| 8 | COPAIFERA SP | CANIME | 0.480 | 9,800 | 14.5 |
| 9 | LONCHOCARPUS SANCTAMARTAE | MACURUTU | 0.645 | 10,100 | 25.1 |

FUENTE: (NSR-10, 2010)

Teniendo en cuenta que el desarrollo de MLPE en el mundo ha utilizado especies de maderas reforestadas, porque es un proceso industrial de transformación de la maderas; el siguiente paso fue revisar las especies reforestadas en Colombia para compararlo con los tipos de árboles que se encuentran habilitados en su uso para construcción según la NSR-10, por esto se utilizó el estudio desarrollado por la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF) sobre las tendencias y perspectivas del sector forestal en Colombia (Acosta, 2004) y del cual se obtuvo la tabla 2-13.

Tabla 2-13: Especies más Utilizadas en la Reforestación Comercial En Colombia

| Nombre Científico | Nombre Común | Origen | Tipo | Area (Ha) | % |
|--------------------------|--------------------|---------|-------------|------------|-------|
| Alnus jorullensis | Aliso | Nativa | Latifoliada | 888.02 | 0.61 |
| Cedrela odorata | Cedro cebollo | Nativa | Latifoliada | 374.90 | 0.26 |
| Cordia alliodora | Nogal cafetero | Nativa | Latifoliada | 925.70 | 0.64 |
| Cordia gerascanthus | Solera, canalete | Nativa | Latifoliada | 168.30 | 0.12 |
| Cupressus lusitánica | Ciprés | Exótica | Latifoliada | 9,982.20 | 6.85 |
| Especies varias | Varias | Exótica | Latifoliada | 6,802.37 | 4.64 |
| Eucalyptus camaldulensis | Eucalipto | Exótica | Latifoliada | 787.00 | 0.54 |
| Eucalyptus globulus | Eucalipto | Exótica | Latifoliada | 5,024.20 | 3.45 |
| Eucalyptus grandis | Eucalipto | Exótica | Latifoliada | 15,265.90 | 10.47 |
| Eucalyptus sp. | Eucalipto | Exótica | Latifoliada | 2,155.49 | 1.48 |
| Eucalyptus tereticornis | Eucalipto | Exótica | Latifoliada | 3,403.40 | 2.33 |
| Eucalyptus urograndis | Eucalipto | Exótica | Latifoliada | 272.50 | 0.19 |
| Eucalyptus urophylla | Eucalipto | Exótica | Latifoliada | 214.30 | 0.15 |
| Gmelina arborea | Melina | Exótica | Latifoliada | 5,083.80 | 3.49 |
| Pachira quinata | Ceiba tolúa | Nativa | Latifoliada | 6,394.00 | 4.39 |
| Schizolobium parahibum | Tambor, pachaco | Nativa | Latifoliada | 247.80 | 0.17 |
| Tabebuia roseae | Roble, flor morado | Nativa | Latifoliada | 3,988.30 | 2.74 |
| Tectona grandis | Teca | Exótica | Latifoliada | 3,501.85 | 2.4 |
| TOTAL | | | | 145,759.35 | 100 |

Fuente: Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF)

Comparando las tablas del 2-7 al 2-12 con la tabla 2-13 se puede concluir que las especies que son aprobadas para su uso en la construcción por la NSR-10 y que adicionalmente son latifoliadas y reforestadas en Colombia son tres: eucalipto (*eucalyptus globulos*), roble (*tabebuia roseae*) y teca (*tectona grandis*).

Partiendo de esta preselección de las especies anteriormente citadas; para la selección final de la especie para la investigación se basó en cuatro principios básicos que debe tener una madera en la sistema constructivo MLPE que son: secado, durabilidad natural, trabajabilidad y usos; por esto en la tabla 2-14 se muestra un cuadro comparativo de las tres especies en estos cuatro aspectos y que fueron obtenidos de la publicación conjunta de la Universidad Nacional de Colombia – Sena, sede Medellín, (Escobar, 1993):

Tabla 2-14: Comparación entre Eucalipto, Roble y Teca

| | Eucalipto (<i>eucalyptus globulos</i>) | Roble (<i>tabebuia roseae</i>) | Teca (<i>tectona grandis</i>) |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Secado | La madera es difícil de secar al aire libre, presentado deformaciones y agrietamientos en el proceso de secado. | Relativamente fácil de secar al aire libre, aunque un poco lento, con ligero alabeo y pocas grietas. | La madera se estabiliza bien con el secado, pero ocurre lentamente. Seca fácilmente al aire presentando ligeras deformaciones, pero no endurecimientos ni tensiones superficiales. El secado al horno es bueno, sin tendencia a rajaduras o alabeos. |
| Durabilidad natural | Moderadamente durable, siendo resistente al ataque de los hongos. | Es resistente a la pudrición marrón, pero no resiste a la pudrición blanca. La madera en contacto con el suelo es susceptible al ataque de los hongos e insectos. La durabilidad natural se considera moderada. | Es resistente, con una duración en uso exterior de 10 a 15 años. El duramen es resistente al ataque de la termitas de madera seca, siendo comparable a la Caoba de la Indias Occidentales (<i>Swietenia mahogani</i>) en este aspecto. Es moderadamente resistente a los termes subterráneos y muy durable en el suelo, pero fácilmente atacada por la polilla de mar. |
| Trabajabilidad | Es moderadamente difícil de aserrar y trabajar en diferentes maquinas, debido al tipo de grano que posee, lo cual hace que después de su procesamiento la madera tiende a agrietarse en los extremos. Se comporta bien en el cepillado, torneado y taladrado y regular al moldurado. No sujeta bien los clavos. | Se deja trabajar en todas las operaciones de maquinado con excelentes resultados. Da un acabado muy bueno y atractivo. | Es una madera fácil de trabajar con herramientas comunes y no ofrece ninguna dificultad a los procesos de maquinado. La madera posee contenidos variables de Sílice que llegan hasta el 1.4% lo cual hace que sea abrasiva siendo por lo tanto necesario utilizar herramientas con filos reforzados. es una madera moderadamente buena para doblar al vapor. Da un buen acabado y se deja encolar fácilmente |
| Usos | Carrocerías, construcciones navales, muebles, estructuras, carpintería de obra, parquet, durmiente, mangos para herramientas, pilotes, postes, estacaones, minería y carretería, pulpa, papel y vigas cargueras. | La madera es fina parecida a la de <i>Quercus</i> sp.; madera considerada en cuarto lugar de calidad después de <i>Swietenia</i> sp., <i>Cedrela</i> sp. Y <i>Bombacopsis</i> sp. Para la elaboración de muebles finos decorativos, chapas decorativas, ebanistería, construcciones interiores, mangos para herramientas y puertas. | La madera es bien conocida por su contracción baja y su excelente estabilidad luego de trabajarla, siendo utilizada para cubiertas de aviones, barcos y otras embarcaciones grandes. Se usa para pisos, ebanistería, pilotes, coche de ferrocarril, construcciones interiores, construcciones pesadas sometidas a la intemperie, marcos para puertas y ventanas, tornillería, talla, muebles y panalería. Es excepcionalmente apropiada para tanques, tinas, bañeras, cocinas, para bancos de laboratorio y plantas químicas (debido a su alta resistencia a los ácidos), estacaones, armazones de casas |

Fuente: Elaborada por el autor

Basándose en la tabla 2-14 se descartó el eucalipto (*eucalyptus globulos*) por sus bajas características de secado, durabilidad natural y trabajabilidad. Luego de hacer una comparación entre el roble (*tabebuia rosae*) y teca (*tectona grandis*), aunque tiene similares características en el secado (fácil de secar al aire libre con pocos alabeos y agrietamientos) y una buena trabajabilidad y maquinado, la especie teca se destaca sobre las otras dos especies por su alta durabilidad natural a la intemperie lo que potencializa su uso en estructuras exteriores como puentes o estadios; adicionalmente la madera roble se destaca en trabajos de ebanistería o carpintería por su excelente acabado a diferencia de la teca que puede ser utilizada en construcciones interiores y exteriores por sus características naturales y porque no corroe los metales, los cuales son usados como herrajes en el sistema MLPE.

Es por esto que finalmente luego de este proceso de selección, se utilizó la especie Teca (*tectona grandis*) en esta investigación, por las características anteriormente explicadas, en comparación con las otras dos especies de latifoliadas que son aprobadas por la NSR-10 como maderas aptas para el uso en construcción y que son actualmente especies reforestadas en Colombia.

Otra ventaja que tiene la madera teca y que la ha convertido en una especie de un gran auge en los procesos de reforestación en Colombia, es su alta producción de metros cúbicos de madera por hectárea en Colombia en comparación con otros países. Tal como se muestra en la tabla 2-15 (Proexport Colombia, 2010, pág. 11), los buenos resultados de las plantaciones de Teca han logrado posicionar esta especie entre las 4 tipos de maderas con similar y ligeramente mayor rendimiento en Colombia en comparación con otros países productores de esta madera.

Tabla 2-15: Rendimiento por especies en Colombia Vs. Otros Países

| Especies | Rendimiento Colombia (m3/ha/año) | Rendimiento otros países | Países |
|-----------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Acacia | 26-30 | 8-19 | Filipinas, Malasia, Haití, India, Tailandia, Indonesia, Panamá |
| Teca | 7-13 | 10-12 | Filipinas, India, Indonesia, Malasia, Myanmar, Nigeria, Tailandia |
| Eucalipto | 15-40 | 16-30 | Argentina, Chile, Uruguay |
| Melina | 20-25 | 12-19 | Bolivia, Brasil, Costa Rica, Filipinas, Indonesia, Malawi, Malasia |

Fuente: Proexport Colombia

Esto se ha dado gracias a las condiciones geográficas, climáticas y de altitud de algunas zonas de Colombia, que ha logrado dar estos excelentes resultados de producción; esto se puede revisar en un estudio sobre la implementación de plantaciones de teca en el país preparado en asocio del Ministerio de agricultura, Refocosta y Conif que menciona "En Colombia, las plantaciones de teca se han establecido en zonas de vida del bosque húmedo tropical como el Valle del Sinú, el Magdalena Medio y Uraba y en zonas de bosque seco tropical como el centro del departamento del Magdalena y el Cesar, Colombia ocupa el puesto 64 en la producción de madera en rollo industrial de teca, en cuanto a madera aserrada ocupa el puesto 51 con una producción de 538.000 m³" (Ministerio de Agricultura - Refocosta - Conif, 2008, pág. 7)

Este gran auge en la producción de teca en el país y con las características físicas y de durabilidad natural de esta especie, la ha posicionado en una nueva alternativa en la construcción colombiana para estructuras exteriores como pérgolas y deck; pero aunque las resinas naturales le han dado esta gran condición de uso en la intemperie, también ha generado la hipótesis de sus posibles problemas de encolado, es por esto que algunos autores para romper un poco con este mito han asegurado, "La madera tiene resinas grasosas llamadas tectoquinones que funciona como repelente natural contra el comején y ayudan a que la madera resista la pudrición. A pesar de las resinas grasosas en la madera fresca, la madera seca se fija bien con pegantes" (Ladrach, 2009, pág. 16).

Es por esto que en Colombia empresas como Refocosta han empezado a utilizar las técnicas de laminado pegado en especies como el pino Caribe y la Teca; pero solamente se comercializan en secciones máximas de 4 x 8 cm con una longitud de 3 metros, lo que limita su uso a estructuras menores como mezanines y altillos, es por esto importante comenzar estudios sobre el uso de esta especie en procesos de MLPE, que puedan aclarar sus posibilidades en la construcción en Colombia.

2.5 Adhesivos para MLPE

El otro componente de la madera laminada son los adhesivos o colas, las dos formas de adhesión como lo afirma (Hoheisel, 1988):

- La adhesión mecánica: causada por la penetración de la cola y su anclaje en los poros de las superficies a pegar. Debido a que las fuerzas capilares, la cola líquida penetra por los poros a la madera antes de ser fraguado.
- La adhesión específica, basada en las fuerzas moleculares (formación de la línea de cola)

En el desarrollo a lo largo de la historia de sistema MLPE, han existido, dos clases de adhesivos para madera: colas a base de productos naturales u orgánicos y colas de resinas sintéticas;(Quevedo, 2000) presentan las siguientes definiciones de las clases de pegantes utilizados para madera:

- Adhesivos Orgánicos. La mayoría de los adhesivos orgánicos, son los generados a base de proteínas. Aunque los productos antiguos de madera consolidada fueron hechos usando los pegamentos naturales de la proteína, estos enlaces son durables solamente a niveles de baja humedad y presentan problemas a niveles de alta humedad.

El adelanto más grande en el desarrollo de los adhesivos naturales, son los de la harina de la soja que permitieron que el laminado interior se convirtiera en un reemplazo rentable de la madera sólida. Algunas de las composiciones naturales que forman adhesivos son: colas de proteínas, adhesivos de Tanino, adhesivos de lignina

- Adhesivos sintéticos.
 - Formaldehidos: son los adhesivos para madera más comunes, son aquellos a base de fenol Formaldehido (PF), resinol Formaldehido (RF), fenol-Resinol Formaldehido (PRF), adhesivos Urea Formaldehidos, adhesivos Formaldehidos de Melanina o una mezcla de los mismos.

Son colas de tiempo de vida muy limitado (alrededor de 4 horas), por lo que deben formularse un momento antes de utilizarlas, mezclando la resina con el catalizador, cargas y disolventes necesarios. El fraguado se produce por la policondensación de la resina, al reaccionar con el catalizador en un tiempo que depende de la temperatura ambiente y de la proporción de resina y catalizador.

Salvo en las colas de resorcina, en que el fraguado se puede realizar a partir de los 15°C, las demás necesitan temperaturas de más de 20°C, pero su tiempo de fraguado es tan alto, que lo normal es aplicar temperaturas de 70 a 140°C, reduciendo su tiempo de fraguado a apenas unos segundos.

- Adhesivos Epóxicos y poliuretanos. son ampliamente utilizados debido a su buena resistencia ambiental y la capacidad de enlazar a una variedad amplia de superficies, incluyendo la madera, metales, plásticos, cerámica, y concreto.

Tiene un uso general menor en la vinculación de madera porque son más costosos que la mayoría de los adhesivos de madera, y en algunos casos, su durabilidad es limitada. Por otra parte, estos son adhesivos estructurales capaces de curar a temperaturas ambiente, tienen la habilidad que llena cualquier fisura, y enlazan a muchas otras superficies, mientras que la mayoría de los pegamentos de madera requieren un curado a base de calor, no cubren fisuras y no enlazan con otros substratos.

Es importante señalar que aunque los adhesivos de base orgánicas estuvieron en un principio aplicados a estructuras de madera laminada, luego de la invención de los adhesivos sintéticos, estas primeras fueron relegadas a usos en carpintería y ebanistería, es por esto que la industria de MLPE actualmente solamente utiliza adhesivos de base sintética por sus mayores valores de resistencias; pero es importante mencionar los adhesivos orgánicos por su aporte en el desarrollo de la tecnología de MLPE.

Teniendo en cuenta que en Colombia no se cuenta con una normativa sobre tipos de adhesivos utilizados en MLPE se utilizó como base un documento de (Ministerio de Vivienda - España, 2003), de este documento se puede extraer la tabla 2-16 la cual presenta un resumen de los tipos de adhesivos y las clases de servicios para estructura MLPE.

Tabla 2-16: Tipos de adhesivos en madera para uso estructural y su adecuación con la clase de servicio

| Tipos | | Abrev. | Clase de servicio | | | Observaciones |
|---------|------------------------------|--------|-------------------|-----------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | |
| 1 FD | Fenol-formaldehido | PF | apto | apto | apto | Adhesivo para encolar en caliente (110°C - 140°C); adecuado para fabricación de tableros de madera. Lineas de cola marrón oscuro. |
| | Resorcina-fenol-formaldehido | RPF | apto | apto | apto | Lineas de cola marrón oscuro. |
| | Resorcina-formaldehido | RF | apto | apto | apto | Lineas de cola marrón oscuro. |
| | Melamina-urea-formaldehido | MUF | apto | apto | poco apto | Preferentemente para encolar por encima de 30°C. Lineas de cola transparentes. |
| | Urea-formaldehido | UF | apto | poco apto | no apto | No adecuada para una humedad relativa del aire elevada y simultánea con una temperatura por encima de 50°C. Lineas de cola transparentes. |
| 2 PA | Poliuretano | PU | apto | apto | apto | Aptitud reducida para rellenar las juntas. El fabricante indicará las prestaciones ante el fuego. Lineas de cola transparentes. |
| | Resinas epoxi | EP | apto | apto | apto | No adecuada para temperaturas superiores a 50°C. Apta para juntas gruesas. Presión de encolado reducida. Lineas de cola transparentes. |
| 3 CA | Caseína | --- | apto | poco apto | no apto | Es necesario un fungicida. Lineas de cola transparentes. |

Fuente:(Ministerio de Vivienda - España, 2003)

De la tabla 2-16 se puede extraer dos puntos; existen varias clases de adhesivos aptos para MLPE, pero se pueden agrupar en 3 grupos: las de base formaldehido (Fenol- formaldehido, resorcina-fenol-formaldehido, resorcina-formaldehido y melamina-urea-formaldehido), tipo de adhesivos poli-aditivos (poliuretanos y resinas epoxi) y los de caseína; el otro punto de importancia son las clases de servicio, para comprender un poco mas este punto se tomará la definición de (Ministerio de Vivienda - España, 2003)

- a) clase de servicio 1. Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 65% unas pocas semanas al año.
- b) clase de servicio 2. Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 85% unas pocas semanas al año.
- c) clase de servicio 3. Condiciones ambientales que conduzcan a contenido de humedad superior al de la clase de servicio 2.

A pesar de la gran variedad de adhesivos, en la industria actual de MLPE se utilizan primordialmente adhesivos a base de formaldehído principalmente por el bajo costo de este tipo de colas, solamente en casos especiales donde hay solicitudes de carga especiales se utilizan pegantes poliuretanos y/o epóxicos; los adhesivos a base de caseína tienen un uso restringido y por esto solamente se aplica en estructuras interiores y de bajas solicitudes de carga.

Es por esto que dentro del grupo de adhesivos a base de formaldehídos los más utilizados son: Resorcia Fenol Formaldehído (RPF), Melámina Urea Formaldehído (MUF) y Urea Formaldehído (UF), este último tiene restricciones en su uso según la normativa internacional y solamente es posible utilizarlo en estructuras con clase de servicio 1 (bajas condiciones de humedad); es por esto que solamente se evaluará los adhesivos RPF y MUF, para esto por medio de la tabla 2-17, se realizará una comparación entre estas dos clases de adhesivos:

Tabla 2-17: Comparación entre adhesivos RPF y MUF

| | RPF | MUF |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Color de la línea de cola | Color oscuro marrón-rojo, deja muy marcada las líneas de cola. | Color beige claro, un color más claro y se menos visible, lo que estéticamente suele apreciarse más |
| Tratamiento de aguas de lavado | Difícil por la presencia de fenol. | Simple |
| Emisión de formol en el aire ppm/m ² | 0.03 - 0.04 | 0.05 - 0.06 |
| Olor | Fuerte por formol acentuado por el metanol | Debil de formol |
| Resistencia al agua | Si | Si |
| Tipo de uso | Exterior | Exterior |
| Resistencia al fuego | Muy resistente | Muy resistente |
| Uso en el mercado colombiano | No se aplica con frecuencia, solamente se obtiene por medio de importaciones y de grandes cantidades, altos costos. | Es el mas utilizado por la industria colombiana, los distribuidores tiene existencias |

Fuente: Elaborado por el autor.

Teniendo en cuenta las consideraciones de la tabla 2-17, se decidió utilizar el adhesivo MUF ya que presentan menores riesgos ecológicos y ambientales al momento de su utilización; igualmente las resinas MUF tienen resistencia al agua, al fuego y se puede utilizar al exterior, adicionalmente tiene un factor estético ya que no deja líneas de colas visibles en comparación a otras resinas en base de formaldehidos y es más común en el mercado colombiano y presenta un gran uso el MLPE en el país.

Es importante dentro de esta sección mencionar los problemas de adhesión, y los cuales se tuvieron en cuenta en el desarrollo de la investigación; dentro de los problemas más comunes se pueden encontrar los siguientes mencionados por (Bobadilla, 2006):

- Densidad elevada: se entenderá por densidad elevada aquella que supere los 700 kg/m³, ya que generalmente densidades de esta magnitud, y superiores, son sinónimo de

problemas en el encolado, ya sea debido a la falta de absorción de adhesivo, a la carbonización superficial provocada en el mecanizado o a los movimientos debidos a los cambios de humedad, que en maderas densas suelen ser más acusados (hay excepciones, desde luego).

La cuestión es que muchas especies con densidades comprendidas entre 750 y 1200 kg/m³ están clasificadas en la bibliografía técnica como de encolado difícil. Casi la mitad de las especies con problemas de encolado están afectadas por este factor.

- Sustancias de impregnación: Suponen, aunque varía mucho con la especie, entre un 3% y un 5% de la composición química de la madera de coníferas y latifoliadas, respectivamente. Este tipo de productos químicos fisiológicos, contenidos en las maderas de algunas especies; resinas, oleoresinas, aceites, taninos, minerales, etc., pueden reaccionar con los adhesivos provocando problemas en las uniones, faltas de adherencia y de fraguado, o en el mejor de los casos la aparición de manchas. Más de un tercio de las especies problemáticas están afectadas por la presencia de sustancias de impregnación.
- Acidez. El pH de las maderas puede variar con la especie, e incluso dentro de la misma especie dependiendo de la zona del tronco (albura y duramen). La acidez de la madera puede ocasionar problemas químicos con determinados tipos de colas, provocando dificultades en el fraguado y manchas. Se trata de un problema menos generalizado, pero afecta a un 7% aproximadamente de las maderas con problemas.

Otro factor que influye en el encolado son los módulos de elasticidad, porque "en general se debe tratar de obtener uniones, líneas de cola con una alta resistencia en su punto de ruptura, esto significa: colas rígidas. El módulo de elasticidad de la cola completamente fraguada debe ser siempre inferior al módulo de elasticidad de la madera a pegar. Esto con el propósito de evitar roturas en la línea de cola. En caso de ser sobrecargada debe producirse la falla en la madera y no en la línea de cola"(Hoheisel, 1988, págs. 2-3)

De acuerdo a lo anterior y comparando los módulos de elasticidad del adhesivo MUF que se encuentran entre 67.000 y 97.000 kg/cm², con el módulo de elasticidad de la teca 103.000 kg/cm², está dentro de las recomendaciones de la bibliografía y por esto finalmente el adhesivo que se utilizó para el desarrollo de la investigación es el suministrado por la empresa Akzo Nobel MUF 1242 con el catalizador recomendado por el distribuidor Akzo Nobel Hardener 2542.

3. Propósitos de la investigación

3.1 Objetivo general

Evaluar la aplicación de la especie de madera tropical Teca (*Tectona grandis*) en el sistema de madera laminada pegada estructural por medio de la caracterización de las propiedades físico mecánicas de esfuerzo de corte de la línea de adhesivo y resistencia a la rotura por flexión en elementos laminados encolados.

3.2 Objetivos específicos

1. Definición de los protocolos de los ensayos a partir del análisis de la normativa nacional e internacional y para determinar las dimensiones, tamaños y cantidades de probetas de ensayo.
2. Determinar la resistencia mecánica a corte o cizallamiento de la línea de cola de la madera teca para comparar con la resistencia natural de esta madera y así conocer su comportamiento al corte en MLPE.
3. Conocer el comportamiento de corte longitudinal a través del esfuerzo a flexión de la de teca en el sistema MLPE para analizar el comportamiento de la línea del adhesivo longitudinal cuando los elementos laminados están sometidos a un esfuerzo a flexión.
4. Hacer pruebas de flexión de vigas en tamaño natural, teniendo en cuenta que es el principal esfuerzo al que se someten las estructuras MLPE con el fin de conocer el

comportamiento, resistencia a la rotura, módulo de elasticidad, módulo de rotura de la especie teca dentro de este tipo de sistema constructivo.

5. Comparar los resultados obtenidos en la etapa experimental, con los esfuerzo admisibles de la normativa europea, chilena y los resultados obtenidos en la investigaciones de especies tropicales con densidades básicas menores a 500 kg/m^3 realizados en la Universidad Nacional de Colombia con el fin de encontrar ventajas y posibles problemas en la utilización de la teca en la MLPE.

3.3 Metodología

Dentro de la investigación se plantearon diferentes etapas de este proceso conforme a los objetivos planteados, a continuación se mostraran de manera general algunos aspectos que se tuvieron en cuenta y más adelante en el desarrollo de la investigación se verán en detalle cada uno de estas etapas.

1. Revisión de la normativa.

Para definir al detalle los protocolos, se hizo una revisión de la normativa internacional y colombiana y que sirvió de base del proceso de investigación, con esto las pruebas de laboratorio se enmarcaron en la normativa vigente.

A través de los recurso bibliográficos en línea del sistema de bibliotecas de la Universidad Nacional de Colombia, se realizó una recopilación de la normas ASTM y NTC luego de hacer una comparación entre estas dos clases de normativas, se llegó a la conclusión de utilizar las normativas colombianas, ya que estas se basan en la normas ASTM para la definición de cada uno de los ensayos.

En la etapa anterior se obtuvo el número, tamaño y formas de probetas de las pruebas de laboratorio, con esta información se calculó el número de piezas de madera en teca a utilizar y la cantidad de adhesivo necesario para la investigación

En esta se hace el maquinado y preparación inicial de las piezas en madera, también se realizaron los ensayos de contenido de humedad y clasificación visual de la madera, en donde se calculó la cantidad de desperdicio de la madera por estos defectos típicos.

Con el fin de tener una trazabilidad de las piezas a lo largo del proceso de secado, se decidió utilizar las siglas PZ seguido del número de pieza de madera comprada para investigación; para las pruebas de contenido de humedad a las tres probetas solicitadas para el ensayo se marcaron con el número de pieza en una cara, y en otra cara se marcaron con las letras A, B o C

2. Corte y cizallamiento de la línea de cola. (NTC 775 Y NTC 2279)

Se elaboró cada una de las probetas en el taller de carpintería del edificio del Sindu de la Universidad Nacional de Colombia. Para obtener el contenido de humedad de las piezas de madera se utilizaron los hornos de secado del Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IIT) de la Facultad de Artes.

Los ensayos se realizaron en los equipos del IIT teniendo en cuenta las variables de la norma aplicada para este ensayo. De cada una de las probetas se realizaron las respectivas fichas. (Ver anexos A y B)

Para las pruebas de corte paralelo al grano (NTC 775) se utilizaron las siglas CPG seguido con el número de probeta; para el ensayo de corte en línea del adhesivo las siglas fueron CLA igualmente seguido con el número de la probeta, como método de identificación de las probetas.

3. Corte Longitudinal por flexión. (NTC 663)

Igual que en la etapa anterior se realizó el maquinado de las probetas en la carpintería del Sindu, teniendo en cuenta el tamaño de las probetas el prensado se realizó por medio de prensas manuales.

Los ensayos fueron realizados en los mismos equipos de la etapa anterior lo que facilitó la digitalización de los datos ya que el equipo utilizado es digital lo que facilita la consolidación de los resultados. (Ver anexo C)

Para la identificación de las probetas se utilizaron las siglas CLF seguido con el número de la probeta.

4. Ensayo de flexión de vigas en estado natural (NTC 5279)

Para esta etapa y teniendo en cuenta el contenido de humedad de la madera se realizó un secado al aire libre bajo techo en el patio de ensayos del Sindu, luego se realizó la unión de cada una de las piezas por medio del trompo y una fresa comprada para realizar las uniones tipo finger joint, el cepillado se realizó en las instalaciones del Sindu.

Para el prensado se utilizó el equipo neumático con que cuenta el IIT, con el cual se garantizó la cantidad de presión y el tiempo cerrado, siguiendo las recomendaciones de las fuentes bibliográficas.

Los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio del Instituto de Extensión e Investigación (IEI) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, en estos ensayos se utilizó una bomba neumática con un medidor de presión y un deformímetro digital para obtener la deformación.

Para esta prueba se utilizó siglas VG seguido por el número de la probeta como método de identificación. (Ver anexo D)

5. Comparación de resultados

Finalmente a través de la comparación de los datos obtenidos de cada una de las pruebas con las resistencias admisibles de la normativa europea y chilena se pudo concluir la posible utilización del laminado encolado estructural en teca en la industria actual de la construcción.

Se utilizaron cuadros comparativos y gráficos de los resultados obtenidos en MLPE en teca, con diferentes aspectos como:

- Comparación de valores de resistencia en madera maciza en teca Vs MLPE en teca. (Tabla 4-9)
- Comparación de medidas de resistencia de MLPE en teca con especies utilizadas por la industria. (Tabla 4-10)
- Porcentaje de aumento de resistencia de MLPE en teca en comparación de los esfuerzos admisibles de la normativa chilena y europea. (Tabla 4-14)
- Comparación de MLPE en teca con MLPE en caracolí y gmelina arborea. (Tabla 4-15)

4. Desarrollo de la investigación

4.1 Revisión de la normativa

Para determinar las resistencias de la especie escogida se realizó una revisión bibliográfica de normas técnicas colombianas, americanas, europeas y chilenas, para efectos de la investigación se decidió utilizar las normas NTC las cuales son adaptaciones de las normas ASTM, igualmente este tipo de ensayos tienen similitud metodológica y procedimientos a las normas europeas UNE y a la normativa chilena lo cual facilita que los datos obtenidos en las pruebas se puedan comparar con los esfuerzos admisibles de estas dos normativas.

4.1.1 Revisión de la norma de contenido de Humedad

Como primer procedimiento dentro de la investigación y teniendo en cuenta la relación de la resistencia mecánica con el contenido de humedad de la madera y que la NSR-10 plantea que el contenido de humedad de la madera para el uso de construcción debe estar en el rango de 15% a 20%, se tomó como referencia la norma técnica colombiana NTC 602, el siguiente es un resumen de la metodología planteada en la norma.

- Norma NTC 206-1 (Determinación del contenido de humedad para ensayos físicos y mecánicos).

Tamaño de la probeta: 2 x 2 x 3 cm

Por pieza de madera cortar 3 probetas

Pesar las probetas con exactitud de +/- 0.1 gr

Secar las probetas en un horno a 105°C, dejar secar y pesarlas nuevamente

La norma propone la siguiente fórmula para determinar el contenido de humedad de una madera

$$CH = \left(\frac{m1 \times m2}{m2} \right) \times 100 \tag{4.1}$$


Donde:

CH = Contenido de humedad.

m1 = masa de la probeta antes del secado en gramos.

m2 = masa de la probeta después del secado en gramos.

Tabla 4-1: Esquema de informe de laboratorio del ensayo de contenido de humedad

|  | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | | ENSAYO | | DETERMINACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD | | ESQUEMA DE PROBETA | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---|---------------------------|-------------|------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|---------|---|---------------------------|-------------|
| | | MAESTRIA EN CONSTRUCCION NOVENA COHORTE | | | NORMA: NTC 206-1 | | FECHA: | | | | | | |
| TRABAJO DE GRADO | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | | ESPECIE | | TECA (TECTONA GRANDIS) | | FORMULA | | | | |
| AUTOR | | ARO. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | | DENSIDAD BÁSICA | | | | | | | | |
| DIRECTOR | | ARO. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | | MAQUINA DE ENSAYO | | | | $w = \left[\frac{m_1 - m_2}{m_2} \right] * 100$ | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | | | | | | | | | | | | |
| IDENTIFICACION DE PIEZA DE MADERA | IDENTIFICACION DE PROBETA | m1 (gr) | m2 (gr) | W | PROMEDIO DE CH DE PROBETA | OBSERVACION | IDENTIFICACION DE PIEZA DE MADERA | IDENTIFICACION DE PROBETA | m1 (gr) | m2 (gr) | W | PROMEDIO DE CH DE PROBETA | OBSERVACION |
| PZ-1 | 1A | 13.70 | | - | | | PZ-24 | 24A | | | - | | |
| | 1B | 17.46 | | - | | | | 24B | | | - | | |
| | 1C | 10.88 | | - | | | | 24C | | | - | | |
| PZ-2 | 2A | 11.87 | | - | | | PZ-25 | 25A | | | - | | |
| | 2B | 11.97 | | - | | | | 25B | | | - | | |
| | 2C | 11.95 | | - | | | | 25C | | | - | | |
| PZ-3 | 3A | 7.82 | | - | | | PZ-26 | 26A | | | - | | |
| | 3B | 9.45 | | - | | | | 26B | | | - | | |
| | 3C | 9.11 | | - | | | | 26C | | | - | | |
| PZ-23 | 23A | | | - | | | OBSERVACION GENERAL | | | | | | |
| | 23B | | | - | | | | | | | | | |
| | 23C | | | - | | | | | | | | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO GENERAL | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaborada por el autor

4.1.2 Revisión de la norma de resistencia al corte de la línea de encolado.

Para el primer ensayo se decidió utilizar dos normas técnicas colombianas, la primera norma aplicable es la NTC 775 (determinación de la resistencia al cizallamiento paralelo al grano) con esta se logró conseguir la resistencia al corte de la madera maciza de Teca utilizada en la investigación.

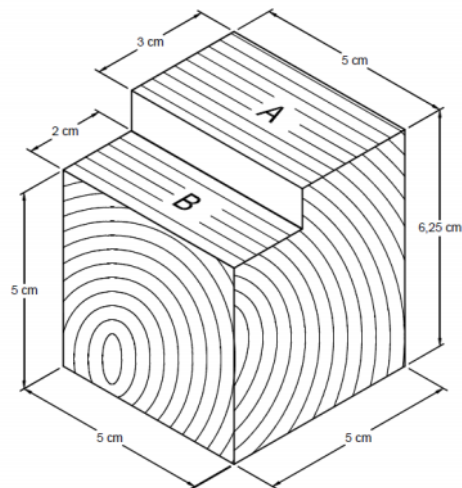
Para comprobar la resistencia de la línea de encolado de la especie teca con el adhesivo MUF se utilizó la NTC 2279 (método de ensayo para determinar la resistencia adhesiva al corte de los adhesivos usados en madera sometida a cargas de compresión). Los datos obtenidos de esta prueba se compararon con los resultados de la resistencia de madera maciza para poder determinar el porcentaje de disminución de resistencia y si se encuentra dentro del 70% lo cual es admisible por la normativa.

A continuación se describirá la metodología planteada en cada norma:

- Norma NTC 775 basada en la Norma ASTM D143-94 (Reprobada 2000).

Dentro de esta norma, se encuentra el ensayo para determinar la capacidad natural de la madera al corte o cizalla paralela al grano, a continuación se describirán las características de la prueba:

- Humedad de las muestras: la norma solicita que las muestras estén secas al aire, para garantizar que las probetas tengan una humedad similar al ambiente.
- Temperatura de las muestras: como la temperatura afecta las propiedades mecánicas se debe mantener la muestra a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 23^{\circ}\text{C}$
- Tamaño de los especímenes: las dimensiones de la probeta son 50 x 50 x 63 mm (2 x 2 x 2-1/2 pul) a la cual se realizó una muesca como lo indica la figura 4-1.

Figura 4-1: Probeta para ensayo de corte paralelo al grano


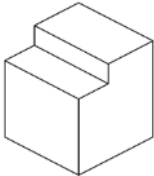



FUENTE: (NTC 775, 1974)

Figura 4-2: Probeta de ensayo de corte paralelo al grano en teca

- Número de probetas: aunque en la norma no especifica el número, se tuvo en cuenta que la norma colombiana NTC 301 (requisitos de las probetas pequeñas para los ensayos físicos y mecánicos de la madera) en el numeral 4,6 pide un número mínimo de 30 especímenes.
- Máquina a utilizar: aunque la norma aconseja utilizar una máquina para cizalla, se puede utilizar un equipo de compresión con una capacidad no menor a 6810 kg (15000 lbs.), que contenga una herramienta de tronzadora con un asiento autoalineador para asegurar la distribución uniforme de la carga.

- Velocidad de carga: el índice de movimiento será de 0,6 mm. / minuto (0,024 pulg / minuto)
- Para la tabulación de los datos la norma propone tabla 4-1 como esquema a seguir.

Tabla 4-2: Esquema de informe de laboratorio del ensayo de corte paralelo al grano

|  | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE PARALELO AL GRANO | | ESQUEMA DE PROBETA | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| | | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | | NTC 775 | |  | | |
| | | NOVENA COHORTE | | FECHA: | | | | | | |
| TRABAJO DE GRADO | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | | |
| AUTOR | | ARO. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA | | | | | | |
| DIRECTOR | | ARO. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | |
| | | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 1 | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | | | MAQUINA DE ENSAYO | | | | | | |
| | | | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | | | | | |
| Identificación de la probeta | Superficie de rotura | Ancho de la sección (cm) | Altura de la sección (cm) | Área de la sección (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia (kg/cm ²) | Resistencia (N/mm ²) | Contenido de humedad (%) | Observaciones | Diagramas |
| 1 | | | | | | | | | |  |
| 2 | | | | | | | | | |  |
| 3 | | | | | | | | | |  |
| VALOR MINIMO | | | | | | | | | | |
| VALOR MAXIMO | | | | | | | | | | |
| PROMEDIO | | | | | | | | | | |
| DESVIACIÓN ESTANDAR (CARGA MÁXIMA) | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaborada por el autor

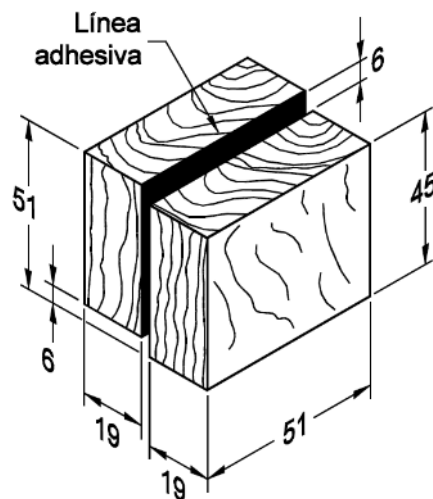
- Cálculo de datos: se debe expresar en kilogramos fuerza y para calcular la fuerza cortante por espécimen se toma la carga máxima al corte y se divide por el área sometida al corte
- NTC 2279 basada en la norma ASTM D 905-08.

Esta norma se tomó como modelo, para medir los esfuerzos de la línea de cola al corte o cizalla, estos datos son de importancia, porque al compararlo con los datos obtenidos en la

prueba anterior se pueden encontrar los porcentajes de resistencia al corte del adhesivo con teca en relación a la madera en teca maciza, a continuación se describen las características de la prueba:

- Humedad de las muestras: dentro de la norma se especifica que para el contenido de humedad se debe tener en cuenta la recomendación del fabricante, sino se tiene este dato la misma recomienda una humedad entre 8 a 14% de humedad.
- Tamaño y forma de los especímenes: la muestra utilizará dos maderos de 50 x 45 x 19 mm (2 x 1-3/4 x 374 pulg.) unidos con adhesivos según lo indica la figura 4-2.

Figura 4-3: Dimensiones en mm de probeta de ensayo de corte de la línea del adhesivo



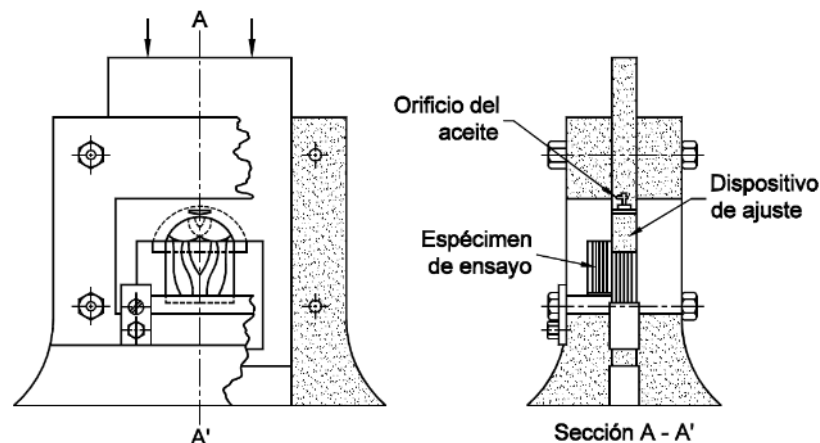
FUENTE: (NTC 2279, 1999)

Figura 4-4: Probeta de ensayo de corte en línea de adhesivo



- Número de probetas: esta norma pide un número mínimo de 20 especímenes, pero teniendo en cuenta que en la prueba anterior se utilizaron 30 se dejará el mismo número, para tener el mismo rango de muestreo.
- Características de encolado de las muestras: los bloques se cepillaron solamente antes de encolar, las superficies de encolado estuvieron libres de suciedad, el adhesivo se preparó y aplicó de acuerdo a la recomendación del fabricante del adhesivo.
- Presión de prensado: la norma establece seguir las recomendaciones del fabricante, pero como primera aproximación se tuvo en cuenta la recomendación del Ing. Vicente Pérez que, en su libro "manual de madera laminada", recomienda utilizar una presión de $10\text{kg}/\text{cm}^2$ para especies latifoliadas.
- Tiempo de fraguado: se debe mantener una humedad relativa de $50 \pm 2\%$ y a una temperatura de $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 2^\circ\text{F}$), durante de 7 días.
- Máquina a utilizar: la norma recomienda utilizar un equipo de compresión con una capacidad no menor a 6810 kg (15000 lbs.), que contenga una herramienta de tronzadora con un asiento autoalineador para asegurar la distribución uniforme de la carga. Como se indica en la figura 4-3.


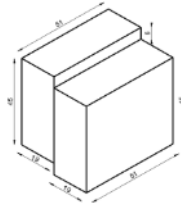
Figura 4-5: Esquema de la máquina de la prueba de corte de la línea de adhesivo



FUENTE: (NTC 2279, 1999)

- Velocidad de carga: el índice de movimiento de la cabeza de carga es de 5 mm/mínimo
- Informe de la prueba: como mínimo debe tener los siguientes datos:
 - Completa identificación de la sustancia adhesiva ensayada, tipo de adhesivo, proveedor, los códigos del fabricante o forma,
 - Las condiciones de aplicación y pegado usadas en la preparación de los especímenes.
 - El procedimiento de condicionamiento usado para los especímenes.
 - Temperatura y humedad relativa en la habitación de prueba.
 - Número de los especímenes que se examinó.
 - Cargas de falla, identificación de valores máximos y mínimo esfuerzo al corte y porcentajes de madera fracturada. La desviación estándar de los datos o todos los valores individuales o ambos
 - El promedio de la resistencia al corte hasta rotura y el porcentaje medio de la madera fracturada.

Tabla 4-3: Esquema de informe de laboratorio del ensayo de corte en línea de adhesivo

|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE DE LINEA ADHESIVO | |  | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | | NTC 2279 | | | |
| | NOVENA COHORTE | | FECHA: | | | | | |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | |
| DIRECTOR | ARO. JOSÉ SEIDEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA | | | | | |
| AUTOR | | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | |
| OBJETIVO ESPECÍFICO NUMERO 1 | | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | | MAQUINA DE ENSAYO | | | | | |
| | | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | | | | |
| ADHESIVO | | | | | | | | |
| TIPO | CODIGO FABRICANTE | | PRESIÓN | | PRESADO | | | |
| ORIGEN | FORMA | | TIEMPO DE | | PRESADO | | | |
| CONDICIONES DE APLICACION DEL ADHESIVO | | | | | | | | |
| ACONDICIONAMIENTO USADO PARA LAS PROBETAS | | | | | | | | |
| Identificación de la probeta | Ancho de línea adhesivo (cm) | Altura de línea adhesivo (cm) | Area de línea adhesivo (cm²) | Carga máxima (kg) | Resistencia (kg/cm²) | Resistencia (N/mm²) | Porcentaje madera fracturada (%) | Observaciones |
| 1 | | | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | | |
| 2 | | | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | | |
| 3 | | | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | | |
| VALOR MINIMO | | | | | | | | |
| VALOR MAXIMO | | | | | | | | |
| PROMEDIO | | | | | | | | |
| DESVIACION ESTANDAR (CARGA MAXIMA) | | | | | | | | |

Fuente: Elaborada por el autor

- Cálculo de datos: se debe expresar en Kg/cm^2 y para calcular la fuerza cortante por espécimen se toma la carga máxima al corte y se divide por el área de la línea de cola.

4.1.3 Revisión de la norma de resistencia al corte longitudinal de la línea de encolado.

Para evaluar el efecto de corte longitudinal de la línea de encolado cuando se somete a un esfuerzo de flexión de la madera laminada en teca se utilizó la NTC 663 (determinación de la resistencia a la flexión); al utilizar probetas pequeñas se puede evaluar el efecto del corte longitudinal en una línea de encolado y poder analizar el tipo de falla de esta especie cuando se utiliza el procedimiento de laminado.

A continuación se describe las principales características del ensayo.

Norma NTC 663 basada en la norma ASTM D 143-09

- Tamaño y forma de los especímenes: la norma solicita una probeta de sección cuadrada con un espesor (e) igual al ancho (a) entre 20 mm y 50 mm, con una longitud de $18a$ como mínimo

Teniendo en cuenta que en el mercado se encuentran secciones de múltiplos de 8×8 cm se utilizó dos piezas pegadas de canto de 2×4 cm, las cuales al unirse se tendrán una sección final de 4×4 cm con la línea de encolado, justo en el centro de la probeta donde probablemente se produzca la falla a corte paralelo.

Finalmente como lo requiere la norma, la longitud mínima de la probeta con una sección de 4×4 cm, sería $= 18(4\text{cm}) = 72$ cm

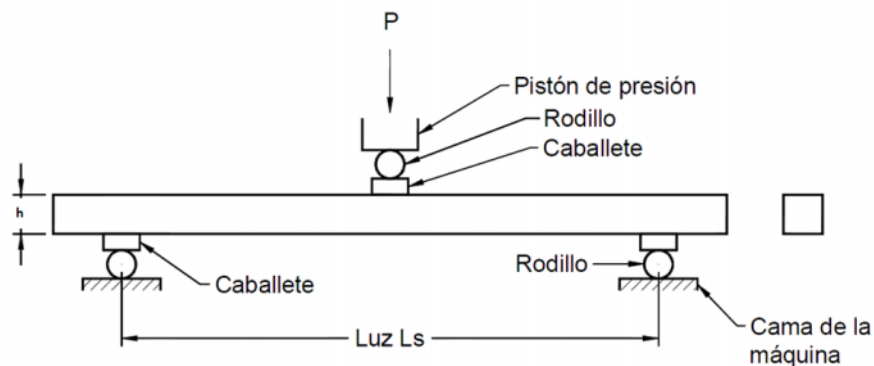
Figura 4-6: Montaje de prueba de corte longitudinal por flexión



- Número de probetas: aunque en la norma no especifica el número, se tiene en cuenta que la norma colombiana NTC 301 (requisitos de las probetas pequeñas para los ensayos físicos y mecánicos de la madera) en el numeral 4,6 pide un número mínimo de 30 especímenes
- Preparación de piezas de madera: las lamelas se cepillaron y se encolaron en un plazo máximo de 24 horas, se garantizó que la superficie de encolado estuviera libre de suciedad, el adhesivo se preparó y aplicó de acuerdo a la recomendación del fabricante del adhesivo(NCh 2148, 2006)
- Preparación del adhesivo: La mezcla del adhesivo, el intervalo entre la mezcla y el esparcido, el esparcido, el tiempo de ensamblado, temperatura y tiempo de curado del adhesivo, deben cumplir con las recomendaciones establecidas por el productor del adhesivo usado. Los ingredientes sólidos para la mezcla del adhesivo deben ser determinados por su peso y los ingredientes líquidos, por su volumen. La temperatura de la madera en el momento de aplicar el adhesivo, debe ser mayor que la temperatura especificada como mínima por el fabricante del adhesivo usado.
- Aplicación del adhesivo: La mezcla de adhesivo se aplicó uniformemente sobre las superficies de las láminas en una cantidad adecuada.

- Presión de prensado: como la norma es establecida como ensayo general para cualquier pieza en madera (maciza o laminada). Se tuvo en cuenta la observación de (Pérez, 1992) en donde recomienda utilizar una presión de 10 kg/cm^2 para especies latifolias.
- Tiempo de fraguado: Después del prensado, si el elemento laminado se almacena bajo techo y en reposo, a una temperatura comprendida entre 15°C y 20°C , el período mínimo de maduración debe ser: 24 horas, para elementos encolados con adhesivo de uso exterior.
- Máquina a utilizar: Equipo para prueba de flexión con posibilidad de aplicación de carga en el centro de la luz, con la capacidad de aplicación de carga en forma continua y constante para obtener una deformación de 2.5 mm por minuto, hasta la rotura como se muestra en la figura 4-4.

Figura 4-7: Esquema de ensayo a flexión para pequeñas probetas



FUENTE: (NTC 663, 1973)

Adicionalmente entre la pieza de presión de la máquina y la probeta, y entre los soportes y la probeta, deben colocarse caballetes de madera dura o metal con aristas redondeadas, para evitar la penetración de los soportes en la probeta de madera.


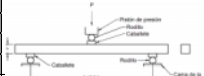
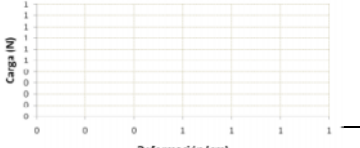
- Procedimiento:

Antes de realizar la prueba se midió y registró cada una de las probetas en sus tres dimensiones a= ancho, h= altura y L= longitud de la probeta y Ls= luz entre apoyos.

Como se mencionó en el anterior punto la carga debe ser continua y constante para obtener una deformación de 2.5 mm por minuto hasta la rotura, registrando la deformación y la carga correspondientes.

La lectura de la carga debe efectuarse en intervalos de 0.02 mm de deflexión y después del límite proporcional en razón del aumento de la carga, cada 100 kg

Tabla 4-4: Esquema de informe de laboratorio del ensayo de corte longitudinal por flexión

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|  | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | |  | | | | |
| | | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | NTC 663 | | | | | | |
| | | NOVENA COHORTE | | FECHA: | | | | | | | |
| AUTOR | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | TECA (TECTONA GRANDIS) | | NUMERO DE PRUEBA 1 | | | | |
| DIRECTOR | | ARO. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA | | | | | | | |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | |
| | | | | TEMPERATURA LUGAR | | | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | | | MAQUINA DE ENSAYO | | | | | | | |
| | | | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | | | | | | |
| ADHESIVO | | | | | | | | | | | |
| TIPO | | CÓDIGO FABRICANTE | | PRESIÓN DE PRENSADO | | | | | | | |
| ORIGEN | | FORMA | | TIEMPO DE PRENSADO | | | | | | | |
| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Resistencia máxima a la flexión - máx- (Kgf/cm²) | Resistencia máxima a la flexión - máx- (N/mm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (N/mm²) |
| 1 | 0 | 0 | | | | | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 3 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 5 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 6 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 7 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 8 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 9 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 10 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 11 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 12 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 13 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 14 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 15 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 16 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 17 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 18 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 19 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 20 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 21 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 22 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 23 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 24 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 25 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 26 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 27 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 28 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 29 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 30 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 31 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 32 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 33 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN | | | | | | | | | | FORMULAS $\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3PL}{2bh^2}$ $\tau_m = \frac{3P}{4bh}$ | |
| a) Tensión simple (vista lateral) | | | | | | | | | | | |
| GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN | | | | | | | | | | FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PRUEBA | |
|  | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaborada por el autor

- Cálculos e informe:

La resistencia a flexión se calcula de acuerdo a la siguiente formula.

$$\sigma \text{ máx} = \frac{3PL}{2ah^2} \quad (4-2)$$

Donde:

máx.= Resistencia máxima a la flexión, en kilogramos por centímetro cuadrado

P = Carga de rotura en newton

L= Luz entre apoyos en cm

a= ancho de la probeta

H= altura de la probeta

El informe debe indicar lo siguiente

Porcentaje de error de acuerdo a los aparatos

Humedad de la probeta

Forma de rotura y fotografía de la falla

Defecto de la probeta no detectable que pueda haber afectado la rotura.

Los resultados de resistencia obtenida de la probeta

Grafica de esfuerzo vs deformación

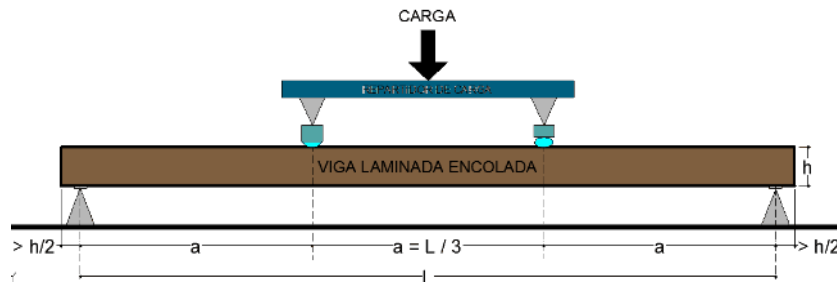
4.1.4 Revisión de la norma de resistencia a flexión de vigas de tamaño estructural.

Para este objetivo se plateó utilizar la NTC 5279 (Métodos de ensayo estáticos para madera en tamaños estructurales); para el desarrollo del trabajo de la investigación se utilizará el ensayo la resistencia a la flexión, teniendo en cuenta que es el esfuerzo en el que más se encuentran sometidos los elementos de MLPE, a continuación se describirán las características de la prueba:

- Norma NTC 5279 basada en ASTM D 198-09

- Esquema general de la prueba: la prueba básicamente consiste en tomar un elemento en este caso recto y someterlo a un momento flector, los apoyos o reacciones se ubican lo más cercano a los extremos de la viga, tal como lo muestra la figura 4-5.

Figura 4-8: Esquema de ensayo a flexión de vigas de tamaño estructural



Se aplican dos cargas simétricas y opuestas a las reacciones hasta el rompimiento, las cargas deben estar distanciadas entre sí y a las reacciones a un tercio de la luz libre (a), la principal razón de aplicar dos cargas como lo explica la norma es tener momentos flectores libres de cizallamiento.

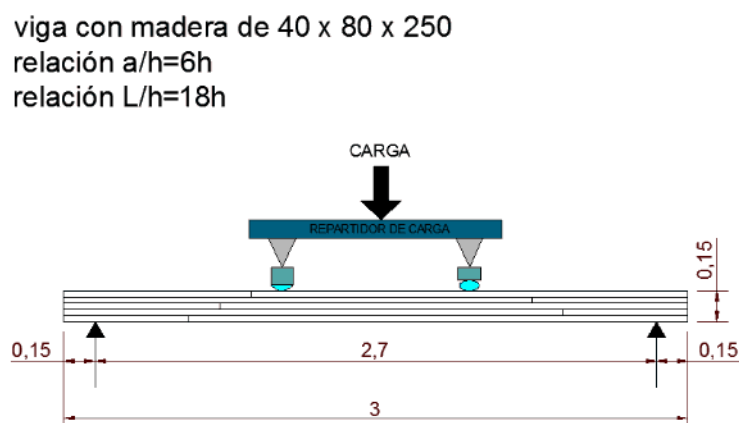
- Humedad de las muestras: dentro de la norma no se especifica el contenido de humedad, sólo se hace referencia a la forma de medir la humedad del especímenes, por ésto se debe tener en cuenta la recomendación del fabricante del adhesivo, sino se tiene este dato se buscara una humedad de ambiente.
- Tamaño y forma de los especímenes: la forma de la probeta será una viga de sección rectangular, dentro de la norma NTC 5279 no se especifica un tamaño exacto de la probeta, pero se aclara que para evaluar principalmente las propiedades de flexión de una viga, se debe tener una relación a/h de 5:1 a 12:1 teniendo en cuenta el margen tan amplio de la norma NTC se decidió utilizar la relación más cercana a 6:1 la cual es la que recomienda la norma UNE-EN 408 (Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural – determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas).

Con lo anterior, para determinar la longitud se deben tener en cuenta las siguientes variables:

- 1) La máquina de prensado de la Universidad Nacional de Colombia, tiene como tamaño máximo de 6 metros, para optimizar el proceso de prensado se utilizaron vigas 3 metros de largo para poder prensar dos vigas a lo largo de la prensa.
- 2) La dirección del laminado: se determinó que para estas probetas es conveniente utilizar el laminado horizontal porque es el más utilizado por la industria.
- 3) En el mercado, la sección más común es de 40 x 80 mm. Luego de cepillar se puede obtener 30 mm de espesor de las piezas.
- 4) Otro punto para determinar la longitud es la medida comercial de la madera, estas pueden variar entre 250 cm hasta 300 cm, por esto se buscaran maderas de 250 cm para poder al menos tener una unión finger Joint por lamela. Esto con el fin de que se tenga también esta unión que es característica de MLPE dentro de las vigas de ensayo a flexión.

Con esto se planteó laminar en altura con cinco elementos y así obtener una altura total de la probeta de 150 mm. Teniendo en cuenta que luego del prensado es necesario cepillar las piezas, se determino que el ancho mínimo será de 60 mm, estas medidas se deberán revisar luego de prensar y cepillar las probetas para los cálculos, las dimensiones de las probetas utilizadas se pueden apreciar en la figura 4-6.

Figura 4-9: Dimensiones de vigas de tamaño estructural para ensayo a flexión.



- Número de probetas: la norma NTC no especifica el número mínimo de probetas, por ésto se tomó la norma UNE-EN 408 donde se pide como mínimo 10 probetas para poder obtener una carga media de rotura.
- Preparación de piezas de madera: las lamelas serán cepilladas y se encolarán en un plazo máximo de 24 horas, las superficies de encolado estarán libres de suciedad, el adhesivo se preparará y aplicará de acuerdo a la recomendación del fabricante del adhesivo. (NCh 2148, 2006)
- Preparación del adhesivo: La mezcla del adhesivo, el intervalo entre la mezcla y el esparcido, el esparcido, el tiempo de ensamblado, temperatura y tiempo de curado del adhesivo, deben cumplir con las recomendaciones establecidas por el productor del adhesivo usado. Los ingredientes sólidos para la mezcla del adhesivo deben ser determinados por su peso y los ingredientes líquidos, por su volumen. La temperatura de la madera en el momento de aplicar el adhesivo, debe ser mayor que la temperatura especificada como mínima por el fabricante del adhesivo usado.
- Aplicación del adhesivo: La mezcla de adhesivo debe ser aplicada uniformemente sobre las superficies de las láminas en una cantidad adecuada, la temperatura de la mezcla debe ser medida con la suficiente frecuencia a fin de asegurarse que el tiempo útil de la mezcla del adhesivo no ha sido sobrepasado.
- Presión de prensado: la norma NTC establece seguir las recomendaciones del fabricante, pero como primera aproximación se puede tener en cuenta la recomendación de (Pérez, 1992) de tener una presión de 10 kg / cm^2 para especies latifolias.
- Tiempo de fraguado: Después del prensado, si el elemento laminado se almacena bajo techo y en reposo, a una temperatura comprendida entre 15°C y 20°C , el período mínimo de maduración debe ser: 24 horas, para elementos encolados con adhesivo de uso exterior.

- Máquina a utilizar: Equipo de carga: Un dispositivo que proporcione: (1) un marco rígido de apoyo para la muestra que no permita una desviación del elemento por la carga aplicada, (2) una cabeza de carga a través para que la fuerza se aplique con alta tensión sin las concentraciones en el bloque de distribución, y (3) un dispositivo de medición de la fuerza que está calibrado para asegurar la precisión.

Aparato deformación: para medir la deformación respecto al eje neutro de la viga y se ubica en el centro de la luz entre apoyos, el dispositivo debe estar capacitado para mediciones cercanas a 0,25 mm. (0,01 pulg)


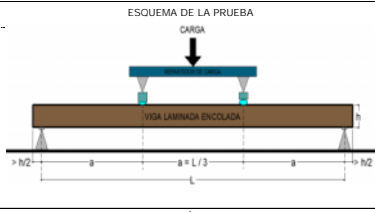
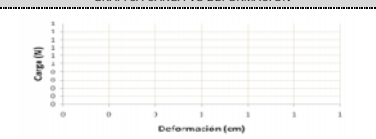

Figura 4-10: Montaje de prueba de flexión de vigas de tamaño estructural



- Velocidad de carga: lo recomendable es aplicar una velocidad constante para lograr una carga máxima en unos 10 minutos, pero se debe tener precaución de no alcanzar la carga máxima en menos de 6 minutos ni superior a 20 minutos, por lo general para completar la prueba en el tiempo, la norma recomienda aplicar un índice de movimiento de 0,001 mm/mm X minuto (0,0010 pulg/pulg X minuto)
- Informe de la prueba: como mínimo debe tener los siguientes datos:
 - Completa identificación de la madera laminada, incluidas las especies, el origen, procedimiento de fabricación, el tipo y la ubicación de las imperfecciones o refuerzos, y las pertinentes características físicas o químicas relativa a la calidad del material.
 - Historial del acondicionamiento
 - Condiciones de la carga, apoyos metálicos, soportes laterales (si se utilizaron) y el tipo de equipo

- Tipo de aparato de deformación
- La altura y ancho de la muestra
- Longitud entre apoyos (L), longitud entre reacciones y reacciones y apoyos (a)
- Tasa de aplicación de la carga de rotura y de intervalo elástico
- Cálculo de propiedades físicas y mecánica incluyendo, gravedad específica, el contenido de humedad, deformación, esfuerzo en límite elástico, módulo de elasticidad, módulo de rotura, y la medida de la variabilidad de los valores

Tabla 4-5: Esquema de informe de laboratorio del ensayo de flexión de vigas de tamaño estructural.

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------|
|  | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | ENSAYO | FLEXION |  | | | | | | |
| MAESTRIA EN CONSTRUCCION | | NORMA: | NTC 5279 | | | | | | | | |
| NOVENA COHORTE | | FECHA: | | | | | | | | | |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | | | | | |
| AUTOR | ARG. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BASICA | | | | | | | | |
| DIRECTOR | ARG. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 4 | | | HUMEDAD RELATIVA | | | | | | | | |
| | | | TEMPERATURA LUGAR | | | | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | | MAQUINA DE ENSAYO | | | | | | | | |
| | | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | | | | | | | |
| ADHESIVO | | | | | | | | | | | |
| TIPO | | | CODIGO FABRICANTE | | | | | | | | |
| ORIGEN | | | FORMA | | | | | | | | |
| PRESION DE PRENSADO | | | TIEMPO DE PRENSADO | | | | | | | | |
| TIEMPO DE FRAGUADO | | | HUMEDAD DE FRAGUADO | | | | | | | | |
| | | | TEMPERATURA DE FRAGUADO | | | | | | | | |
| FORMULAS | | | | | | | | | | | |
| | | $S_f = \frac{3P'a}{bh^2}$ | | $E_f = \frac{P'a}{4bh^3\Delta} (3L^2 - 4a^2)$ | | | | | | | |
| | | $S_r = \frac{3Pa}{bh^2}$ | | $r_m = \frac{3P}{4bh}$ | | | | | | | |
| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Distancia entre la reacción al punto de carga mas cercano -a- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Carga en el limite proporcional -P'- (Kgf) | Deformación máx -max- (cm) | Deformación en el limite proporcional - - (cm) |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | |
| 27 | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | | | |
| 29 | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | | | | | |
| 32 | | | | | | | | | | | |
| 33 | | | | | | | | | | | |
| Esfuerzo en el limite proporcional -Sf- | | | | Modulo elástico aparente -Ef- | | | | Esfuerzo de corte -Tm- | | | |
| | | | | (kgf/cm ²) | | | | (N/mm ²) | | | |
| | | | | (kgf/cm ²) | | | | (N/mm ²) | | | |
| | | | | (kgf/cm ²) | | | | (N/mm ²) | | | |
| GRAFICA CARGA VS DEFORMACION | | | | | | FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA | | | | | |
|  | | | | | |  | | | | | |

Fuente: Elaborada por el autor

- Cálculo de datos: para determinar los esfuerzo y propiedades se realizan por medio de las siguientes expresiones

$$\circ \text{ Esfuerzo a limite elástico (Sf): } \frac{3P'a}{bh^2} \quad (4-3)$$

$$\circ \text{ Módulo de rotura (Sr): } \frac{3Pa}{bh^2} \quad (4-4)$$

$$\circ \text{ Módulo de elasticidad (E): } \frac{23P'h^3}{108bh^3\Delta} \quad (4-5)$$

$$\circ \text{ Esfuerzo al corte (} \tau \text{): } \frac{3P}{4bh} \quad (4-6)$$

Donde:

P= carga de rotura

P'= carga al límite elástico

a= distancia entre cargas

b= ancho de la viga

h= alto de la viga

Δ = deformación limite elástico

Partiendo de la revisión de la normativa y con la cantidad de probetas se pudo calcular el número de piezas en madera y la cantidad de adhesivo para utilizar en la investigación.

Para esto se realizó una consulta en el mercado sobre el tamaño de las piezas en madera maciza en teca, en este proceso se obtuvo que la pieza en teca comercialmente es de sección de 80 x 80 mm con longitudes que van desde 2600 mm hasta 3000 mm, por esto para el cálculo de las cantidades para investigación se tomo como referencia una longitud de 2800 mm. Con la información anterior se desarrolló la tabla 4-2 cantidades de madera y adhesivo para la investigación

Tabla 4-6: Cantidades de madera y adhesivo para la investigación

| norma | tipo de prueba | dimensiones de probeta (mm) | longitud a utilizar (mts) | cantidades de probeta exigidas | cantidades de probeta + 10% | numero de piezas x probeta | longitud total | No de uniones finger | area de linea de adhesivo | No piezas de 80 x 80 x 280 |
|----------|--------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|----------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|
| NTC 206 | Contenido de humedad | 20 x 20 x 25 | 0.03 | | 41.00 | se tomaran tres por cada pieza de madera | 1.23 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| NTC 775 | Corte de cizalla paralela al grano | 50 x 50 x 63 | 0.07 | 30 | 33 | 1 | 2.31 | 0 | 0.00 | 1.00 |
| NTC 2279 | Esfuerzos de la línea de cola al corte o cizalla | dos maderos (50 X 45 x 19) | 0.05 | 20 | 33 | 2 | 3.30 | 0 | 0.17 | 1.00 |
| NTC 663 | Flexion estatica corte paralelo | 40 x 40 x 800 | 0.80 | 30 | 33 | 1 | 26.40 | 0 | 4.22 | 4.00 |
| NTC 5279 | Ensayo la resistencia a la flexión | 3000 X 150 x 60 | 3.00 | | 10 | 5 | 150.00 | 60 | 24.00 | 35.00 |
| | | | | | | | | 60 | 28.39 | 41.00 |

| | |
|---------------------------|--------|
| cantidad de pegante en gr | 13,414 |
| cantidad de pegante en kg | 14 |

Fuente: Elaborada por el autor

Para propósito de la investigación se compraron 45 piezas de madera en teca de sección de 80 x 80 mm en un aserrío de la ciudad de Bogotá.

Sobre el adhesivo se realizó el contacto con la empresa Interquim localizada en la ciudad de Medellín, esta compañía es distribuidor en Colombia de la empresa Akzo Nobel con su oficina central en Ámsterdam Holanda, la cual ofrece productos y adhesivos para la industria de la madera en todo el mundo.

El producto escogido para la investigación es el adhesivo de Melámina urea formaldehido Akzo Nobel MUF 1242 con el catalizador Akzo Nobel Hardener 2542, su ficha técnica menciona la siguiente característica: "La MUF 1242 con el Hardener 2452 es usada en la producción de estructuras en maderas para soportar carga, finger joint, block bording y otras aplicaciones en la industria maderera, donde hay demanda de líneas de cola claras con una alta resistencia a la humedad y al clima" (Akzo Nobel, 2001)

La cantidad de adhesivo comprado para el desarrollo de la investigación es:

Adhesivo Akzo Nobel MUF 1242 = 15 kg

Catalizador Akzo Nobel Hardener 2542 = 2 kg

4.1.5 Maquinado y preparación de las piezas de madera.

Con el fin de llegar a dimensiones más cercanas a las necesarias para las probetas de cada una de las piezas se realizó un maquinado inicial para llegar a secciones de 40 x 80 mm. Esto con el fin de tener piezas más manejables para un maquinado más detallado de cada una de las pruebas previstas.

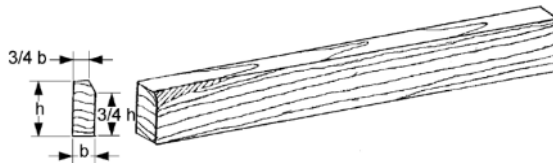
Clasificación visual

Después de esta etapa y tomando como base la NTC 2500 (Uso de la madera en la construcción), se realizó una clasificación visual siguiendo el procedimiento y las clasificaciones de defectos naturales que nos da esta norma.

Con lo anterior se pudo obtener los siguientes defectos de la madera que se utilizaron para la investigación, los cuales fueron descartados y en adelante se denominaron como desperdicio. Dentro de los defectos encontrados se tuvieron los siguientes:

- ARISTA FALTANTE

La definición y la tolerancia permitida en la norma (NTC 2500, 1997) para este defecto es la siguiente: "Reconocimiento: es la Falta de madera en una o más aristas de la pieza. Tolerancia: se permite en una sola arista. Las dimensiones de la cara y el canto donde falta la arista deber ser por lo menos los tres cuartos de las respectivas dimensiones de la sección completa. Se debe verificar el esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras"

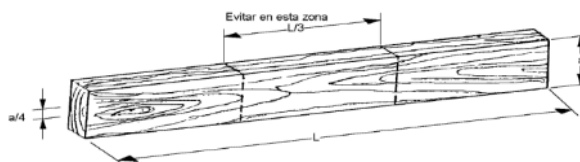
Figura 4-11: Esquema de arista faltante

FUENTE:(NTC 2500, 1997)

Figura 4-12: Fotografía de pieza de la investigación con arista faltante

- NUDO SANO

Definición(NTC 2500, 1997): "Reconocimiento: es la porción de rama entrecruzada con el resto de la madera y que no se suelte o afloje durante el proceso de secado y uso; no presenta deterioro ni pudrición. Tolerancia: se permite hasta un diámetro de $\frac{1}{4}$ del ancho de la cara, con máximo de 4 cm y con distanciamiento entre nudos de 100 cm."

Figura 4-13: Esquema de nudo sano

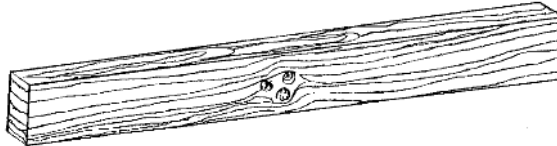
FUENTE:(NTC 2500, 1997)

Figura 4-14: Fotografía de pieza de la investigación con nudo sano

- NUDO ARRACIMADOS

La norma (NTC 2500, 1997) define lo siguiente: "Reconocimiento: se observan con el agrupamiento de dos o más nudos desviando notoriamente la dirección de las fibras que lo rodean. Tolerancia: no se permiten."

Figura 4-15: Esquema de Nudos arracimados



FUENTE:(NTC 2500, 1997)

Figura 4-16: Fotografía de pieza de la investigación con nudos arracimados



- PARÉNQUIMA

Definición(NTC 2500, 1997):

Son células típicamente en forma de paralelepípedo, presenta paredes delgadas. Sirven para almacenar sustancias de reserva. Son susceptibles al ataque de hongos e insectos. Reconocimiento: son células correspondientes al tejido blando, por lo general de color más claro que la parte fibrosa del leño. Se distribuyen en bandas concéntricas y se observan a simple vista en la sección transversal de la pieza de madera previamente humedecida. Tolerancia: no se permite en piezas que van a estar sometidas a esfuerzos de compresión paralela al grano. Para otros usos si se permite. Las bandas parenquimatosas no deben ser mayores de 2 mm de espesor."

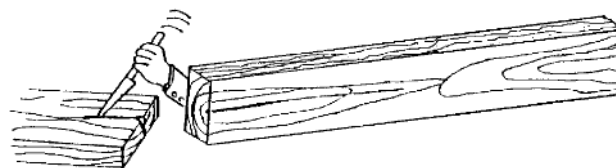
Figura 4-17: Esquema de parénquima

FUENTE:(NTC 2500, 1997)

Figura 4-18: Fotografía de pieza de la investigación con parénquima

- MÉDULA

La definición dada por la (NTC 2500, 1997) es la siguiente: "Es la parte central del duramen constituida esencialmente por parénquima, tejido generalmente blando o células muertas. Reconocimiento: es la pequeña zona de tejido esponjoso situada en el centro del duramen. Es susceptible al ataque de hongos e insectos. Tolerancia: no se permite."

Figura 4-19: Esquema de médula

FUENTE:(NTC 2500, 1997)

Figura 4-20: Fotografía de pieza de la investigación con médula

Los anteriores defectos fueron los encontrados en las piezas suministradas para la pruebas, el defecto más típico encontrado fue médula, con lo que se puede concluir que la madera fue obtenida de árboles jóvenes, esto se puede explicar por la alta comercialización de la especie teca en la industria maderera y por su alto consumo en la construcción actual colombiana lo que ha generado que cada vez se utilicen arboles más jóvenes para poder satisfacer el mercado nacional del momento.

Se realizó una medición de las secciones con defectos y luego de hacer la sumatoria de las secciones se encontró que la longitud total de desperdicio de 53.14 metros de sección de 40x80 mm lo que representa un 21.87% del volumen de la madera que se utilizó para la investigación.

4.1.6 Contenido de humedad

Antes de iniciar cualquier tipo de prueba de laboratorio, dentro de la metodología se planteó verificar el contenido de humedad de cada una de las piezas de madera, para esto se tomó como modelo la norma técnica colombiana NTC 603 (determinación del contenido de humedad para ensayos físicos y mecánicos).

Para esta prueba inicial se decidió tomar de cada una de las piezas de madera 3 probetas de sección 20x20x30 mm, para total de 135 probetas. De las tres probetas se saca el promedio, de esta manera se obtiene el contenido de humedad por pieza utilizada en la investigación.

Los equipos utilizados son: Horno de convección marca Thelco Ref. EW-52500-12 con controlador de temperatura según lo indica la norma y una balanza marca Ohaus Ref. Pioneer TM con exactitud de 0.001 gr. El procedimiento para esta prueba tuvieron los siguientes pasos:

- Corte de la pieza de madera durante el maquinado inicial (corte a secciones de 40x80mm)
- Maquinado de las probetas a la sección de 20x20x30mm.
- Toma del peso inicial en la balanza antes de llevar las probetas al horno
- Dejar las muestras durante 24 horas siguientes a una temperatura de 103°C
- Terminadas las 24 horas tomar nuevamente el peso en la balanza.

Figura 4-21: Probetas en horno de convección**Figura 4-22:** Probeta en balanza digital

Al finalizar este procedimiento y tabulando los datos en la tabla 4-7 se obtuvieron los siguientes valores para las piezas de madera.

Tabla 4-7: Informe de laboratorio de contenido de humedad de las muestras

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCION NOVENA COHORTE | | ENSAYO | | DETERMINACION CONTENIDO DE HUMEDAD | | FORMULA | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------|---------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------|--|
| TRABAJO DE GRADO ESTUDIO DE PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | NORMA: NTC 206-1 | | HUMEDAD | | | |
| AUTOR ARO. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | FECHA: 27 de abril de 2011 | | | | | |
| DIRECTOR ARO. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | ESPECIE TECA (TECTONA GRANDIS) | | | | | |
| | | DENSIDAD BASICA 550 kg/m ³ | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: EDIFICIO SINDU (314) | | MAQUINA DE ENSAYO BALANZA PIONNER | | | | | |
| IDENTIFICACION PIEZA DE MADERA | IDENTIFICACION PROBEA | m ¹ (gr) | m ² (gr) | CH | PROMEDIO CH DE PROBEA | OBSERVACION | |
| PZ-1 | 1A | 9.52 | 7.60 | 25.24 | 27.71 | PARA PRUEBA DE CORTE LINE ADHESIVO Y CORTE LONGITUDINAL POR FLEXION | |
| | 1B | 11.70 | 9.05 | 29.28 | | | |
| | 1C | 6.71 | 5.22 | 28.54 | | | |
| PZ-2 | 2A | 9.21 | 7.51 | 22.64 | 28.31 | PARA PRUEBA DE CORTE LINE ADHESIVO Y CORTE LONGITUDINAL POR FLEXION | |
| | 2B | 9.68 | 7.38 | 31.17 | | | |
| | 2C | 10.12 | 7.72 | 31.09 | | | |
| PZ-3 | 3A | 7.51 | 6.00 | 25.17 | 25.01 | PARA PRUEBA DE CORTE LINE ADHESIVO Y CORTE LONGITUDINAL POR FLEXION | |
| | 3B | 8.67 | 7.06 | 22.80 | | | |
| | 3C | 9.11 | 7.16 | 27.23 | | | |
| PZ-4 | 4A | 8.55 | 6.90 | 23.91 | 25.71 | PARA PRUEBA DE CORTE LINE ADHESIVO Y CORTE LONGITUDINAL POR FLEXION | |
| | 4B | 8.17 | 6.56 | 24.54 | | | |
| | 4C | 9.21 | 7.16 | 28.63 | | | |
| PZ-5 | 5A | 8.22 | 6.70 | 22.69 | 26.31 | PARA PRUEBA DE CORTE LINE ADHESIVO Y CORTE LONGITUDINAL POR FLEXION | |
| | 5B | 8.35 | 6.38 | 30.88 | | | |
| | 5C | 7.80 | 6.22 | 25.40 | | | |
| PZ-6 | 6A | 8.81 | 6.92 | 27.31 | 26.91 | PARA PRUEBA DE CORTE LINE ADHESIVO Y CORTE LONGITUDINAL POR FLEXION | |
| | 6B | 8.89 | 6.97 | 27.53 | | | |
| | 6C | 8.70 | 6.90 | 26.09 | | | |
| PZ-7 | 7A | 8.12 | 6.57 | 23.59 | 26.11 | PARA PRUEBAS DE FLEXION | |
| | 7B | 8.54 | 6.60 | 29.39 | | | |
| | 7C | 8.20 | 6.53 | 25.57 | | | |
| PZ-8 | 8A | 8.93 | 6.26 | 42.63 | 38.51 | PARA PRUEBAS DE FLEXION | |
| | 8B | 9.53 | 7.29 | 30.73 | | | |
| | 8C | 8.75 | 6.15 | 42.23 | | | |
| PZ-24 | 24A | 6.88 | 5.68 | 21.13 | 20.11 | PARA PRUEBAS DE FLEXION | |
| | 24B | 7.07 | 5.98 | 18.23 | | | |
| | 24C | 7.04 | 5.82 | 20.94 | | | |
| PZ-25 | 25A | 9.21 | 7.22 | 27.56 | 27.31 | PARA PRUEBAS DE FLEXION | |
| | 25B | 9.30 | 7.51 | 23.83 | | | |
| | 25C | 8.12 | 6.22 | 30.53 | | | |
| PZ-26 | 26A | 9.38 | 7.86 | 19.34 | 19.31 | PARA PRUEBAS DE FLEXION | |
| | 26B | 8.22 | 6.90 | 19.13 | | | |
| | 26C | 8.73 | 7.30 | 19.59 | | | |
| PZ-27 | 27A | 7.61 | 6.27 | 21.31 | 20.71 | PARA PRUEBAS DE FLEXION | |
| | 27B | 7.88 | 6.59 | 19.53 | | | |
| | 27C | 8.56 | 7.06 | 21.23 | | | |
| PZ-28 | 28A | 7.65 | 5.22 | 46.53 | 43.31 | PARA PRUEBAS DE FLEXION | |
| | 28B | 8.19 | 5.20 | 57.50 | | | |
| | 28C | 6.92 | 5.49 | 26.03 | | | |
| PZ-29 | 29A | 6.36 | 5.03 | 26.44 | 26.01 | PARA PRUEBAS DE FLEXION | |
| | 29C | 6.92 | 5.60 | 23.57 | | | |
| | 29B | 6.63 | 5.17 | 28.24 | | | |
| PZ-30 | 30A | 9.10 | 7.21 | 26.21 | 27.61 | PARA PRUEBAS DE FLEXION | |
| | 30B | 9.21 | 7.12 | 29.33 | | | |
| | 30C | 9.09 | 7.13 | 27.49 | | | |
| PZ-31 | 31A | 6.42 | 5.41 | 18.67 | 19.41 | PARA PRUEBAS DE FLEXION | |
| | 31B | 6.33 | 5.25 | 20.57 | | | |
| | 31C | 6.46 | 5.43 | 18.97 | | | |

$$CH = \left[\frac{m_1 - m_2}{m_2} \right] * 100$$

| IDENTIFICACION E PIEZA DE MADERA | IDENTIFICACION E PROBETA | m1 (gr) | m2 (gr) | CH | PROMEDIO D CH DE PROBETA | OBSERVACION |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------|------------|-------|--------------------------------|-------------------------|
| PZ-9 | 9A | 8.32 | 6.28 | 32.48 | 34.11 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 9B | 8.60 | 6.69 | 28.56 | | |
| | 9C | 9.15 | 6.47 | 41.42 | | |
| PZ-10 | 10A | 9.38 | 6.68 | 40.42 | 33.21 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 10B | 7.87 | 5.81 | 35.46 | | |
| | 10C | 8.61 | 6.95 | 23.88 | | |
| PZ-11 | 11A | 7.34 | 6.16 | 19.16 | 23.41 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 11B | 6.77 | 5.62 | 20.46 | | |
| | 11C | 8.92 | 6.82 | 30.79 | | |
| PZ-12 | 12A | 7.72 | 6.09 | 26.77 | 25.34 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 12B | 7.69 | 6.19 | 24.23 | | |
| | 12C | 7.78 | 6.22 | 25.08 | | |
| PZ-13 | 13A | 5.99 | 4.97 | 20.52 | 19.5 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 13B | 6.34 | 5.31 | 19.40 | | |
| | 13C | 6.45 | 5.43 | 18.78 | | |
| PZ-14 | 14A | 7.31 | 5.90 | 23.90 | 26.81 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 14B | 7.52 | 5.67 | 32.63 | | |
| | 14C | 8.18 | 6.60 | 23.94 | | |
| PZ-15 | 15A | 8.35 | 6.99 | 19.46 | 20.01 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 15B | 7.53 | 6.28 | 19.90 | | |
| | 15C | 7.09 | 5.87 | 20.78 | | |
| PZ-16 | 16A | 7.90 | 6.66 | 18.62 | 18.74 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 16B | 6.68 | 5.58 | 19.71 | | |
| | 16C | 7.41 | 6.28 | 17.99 | | |
| PZ-17 | 17A | 8.13 | 6.69 | 21.52 | 22.94 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 17B | 8.01 | 6.35 | 26.14 | | |
| | 17C | 6.87 | 5.67 | 21.16 | | |
| PZ-18 | 18A | 7.16 | 5.88 | 21.77 | 20.74 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 18B | 6.27 | 5.19 | 20.81 | | |
| | 18C | 6.97 | 5.82 | 19.76 | | |
| PZ-32 | 32A | 6.95 | 5.87 | 18.40 | 20.51 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 32B | 9.36 | 7.75 | 20.77 | | |
| | 32C | 9.05 | 7.39 | 22.46 | | |
| PZ-33 | 33A | 7.66 | 5.94 | 28.96 | 28.61 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 33B | 8.47 | 6.44 | 31.52 | | |
| | 33C | 7.72 | 6.16 | 25.32 | | |
| PZ-34 | 34A | 8.42 | 6.68 | 26.05 | 25.81 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 34B | 8.41 | 6.70 | 25.52 | | |
| | 34C | 8.88 | 7.05 | 25.96 | | |
| PZ-35 | 35A | 7.16 | 5.81 | 23.24 | 23.01 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 35B | 6.60 | 5.37 | 22.91 | | |
| | 35C | 7.63 | 6.21 | 22.87 | | |
| PZ-36 | 36A | 7.35 | 6.01 | 22.30 | 25.94 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 36B | 7.86 | 6.25 | 25.76 | | |
| | 36C | 8.26 | 6.36 | 29.87 | | |
| PZ-37 | 37A | 9.31 | 7.22 | 28.95 | 24.31 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 37B | 8.51 | 6.89 | 23.51 | | |
| | 37C | 8.36 | 6.94 | 20.46 | | |
| PZ-38 | 38A | 6.73 | 5.43 | 23.94 | 27.51 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 38B | 6.94 | 5.12 | 35.55 | | |
| | 38C | 6.28 | 5.10 | 23.14 | | |
| PZ-39 | 39A | 7.13 | 5.89 | 21.05 | 27.11 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 39B | 9.66 | 7.33 | 31.79 | | |
| | 39C | 8.46 | 6.58 | 28.57 | | |
| PZ-40 | 40A | 7.15 | 5.73 | 24.78 | 29.31 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 40B | 10.69 | 7.72 | 38.47 | | |
| | 40C | 8.34 | 6.69 | 24.66 | | |
| PZ-41 | 41A | 8.79 | 6.37 | 37.99 | 40.41 | PARA PRUEBAS DE FLEXION |
| | 41B | 8.68 | 6.61 | 31.32 | | |
| | 41C | 9.80 | 6.44 | 52.17 | | |

| | | | | | | |
|-------|-----|-------|------|-------|-------|-------------------------|
| PZ-42 | 42A | 8.39 | 6.38 | 31.50 | 40.98 | PARA PRUEBAS DE FLEXIÓN |
| | 42B | 9.34 | 6.66 | 40.24 | | |
| | 42C | 10.16 | 6.72 | 51.19 | | |
| PZ-43 | 43A | 9.22 | 7.22 | 27.70 | 23.58 | PARA PRUEBAS DE FLEXIÓN |
| | 43B | 7.62 | 6.39 | 19.25 | | |
| | 43C | 8.69 | 7.02 | 23.79 | | |
| PZ-44 | 44A | 7.81 | 6.44 | 21.27 | 21.86 | PARA PRUEBAS DE FLEXIÓN |
| | 44B | 6.14 | 5.00 | 22.80 | | |
| | 44C | 6.89 | 5.67 | 21.52 | | |
| PZ-45 | 45A | 6.90 | 5.33 | 29.46 | 34.11 | PARA PRUEBAS DE FLEXIÓN |
| | 45B | 8.96 | 6.15 | 45.69 | | |
| | 45C | 8.04 | 6.32 | 27.22 | | |

| | | | | | | |
|---------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| OBSERVACION GENERAL | | | | | | |
| SE TOMARON TRES PROBETAS POR CADA PIEZA DE 8 X 8 X 2.70 | | | | | | |

| | | | | | | |
|-------|-----|------|------|-------|-------|-------------------------|
| PZ-19 | 19A | 7.78 | 6.62 | 17.52 | 18.33 | PARA PRUEBAS DE FLEXIÓN |
| | 19B | 6.38 | 5.37 | 18.81 | | |
| | 19C | 7.44 | 6.27 | 18.66 | | |
| PZ-20 | 20A | 7.82 | 6.21 | 25.98 | 27.43 | PARA PRUEBAS DE FLEXIÓN |
| | 20B | 8.19 | 6.41 | 27.77 | | |
| | 20C | 8.44 | 6.56 | 28.66 | | |
| PZ-21 | 21A | 7.20 | 5.87 | 22.66 | 21.54 | PARA PRUEBAS DE FLEXIÓN |
| | 21B | 7.85 | 6.55 | 19.88 | | |
| | 21C | 8.47 | 6.94 | 22.05 | | |
| PZ-22 | 22A | 7.94 | 6.45 | 23.10 | 26.33 | PARA PRUEBAS DE FLEXIÓN |
| | 22B | 7.41 | 5.84 | 26.88 | | |
| | 22C | 8.46 | 6.56 | 28.96 | | |
| PZ-23 | 23A | 6.57 | 5.27 | 24.67 | 23.61 | PARA PRUEBAS DE FLEXIÓN |
| | 23B | 6.85 | 5.62 | 21.89 | | |
| | 23C | 7.05 | 5.67 | 24.34 | | |

| | |
|---------------------|-------|
| CH MÁXIMO | 43.37 |
| CH MÍNIMO | 18.33 |
| CH PROMEDIO GENERAL | 26.32 |

| | |
|---------------------|-------|
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | 6.00 |
| MEDIANA | 25.98 |
| VARIANZA | 36.01 |

Con el dato obtenido de esta prueba con un valor promedio de 26.32% se pudo concluir que las piezas de madera para la pruebas se encontraba en estado verde, por esto para las probetas de pequeñas dimensiones, se decidió hacer una maquinado inicial cercano a las dimensiones finales de las diferentes probetas y realizar un secado en el horno marca Thelco Ref. EW-52500-12 del IIT de la Facultad de Artes.

Figura 4-23: Proceso de secado de probetas pequeñas



Con este recurso se pudo acelerar el proceso y en el transcurso de ocho días se secaron las respectivas probetas para las pruebas de corte de la línea de adhesivo y corte por flexión.

Para las lamelas de las vigas para la prueba de flexión se debió realizar un secado bajo techo al aire libre en un proceso que duró seis meses para así lograr que toda la madera para la prueba alcanzara un contenido de humedad de 18%.

Figura 4-24: Proceso de secado al aire libre para lamelas de vigas de tamaño estructural



4.2 Determinación de la resistencia mecánica al corte de la línea de adhesivo

Dentro de los objetivos planteados se presentó la revisión del comportamiento de la línea de adhesivo al esfuerzo de corte, esto se realizó a través de la comparación de la disminución de resistencia del corte paralelo al grano de la madera natural. Para ésto se realizó inicialmente la prueba de acuerdo a la NTC 775 para obtener los datos de resistencia de la teca. El procedimiento para esta prueba fue el anteriormente descrito y para la cual se utilizaron 33 probetas de acuerdo a la forma y dimensiones solicitadas por la norma (ver figura 4-25).

Figura 4-25: Probeta de corte paralelo al grano en teca



El equipo utilizado para la prueba es la máquina universal de ensayo marca Hung Ta Ref. HT 2402 con capacidad de 20 toneladas del IIT de la Facultad de Artes de la Universidad Nacional de Colombia, para el equipo de cizalla se solicitó en préstamo el del IEI de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, el montaje se realizó de acuerdo a lo propuesto por la norma, tal como se muestra en figura 4-26.

Figura 4-26: Montaje de Ensayo de corte paralelo al grano



Con este procedimiento se realizaron los respectivos informes de la prueba (anexo A), a continuación se presenta el resumen de las resistencias obtenidas en la tabla 4-8.

Tabla 4-8: Resumen de datos de ensayo de corte paralelo al grano en teca

| Ident. de la probeta | Ancho de la sección (cm) | Altura de la sección (cm) | Area de la sección (cm ²) | Carga maxima (Kg) | Resistencia (kg/cm ²) |
|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| CPG-1 | 4.87 | 4.73 | 23.03 | 2,513.12 | 109.14 |
| CPG-2 | 4.86 | 4.99 | 24.23 | 2,891.24 | 119.32 |
| CPG-3 | 4.90 | 4.98 | 24.40 | 1,702.59 | 69.77 |
| CPG-4 | 4.86 | 4.86 | 23.62 | 2,515.98 | 106.50 |
| CPG-5 | 4.86 | 4.90 | 23.82 | 2,467.31 | 103.57 |
| CPG-6 | 4.90 | 4.89 | 23.95 | 2,514.35 | 105.00 |
| CPG-7 | 4.90 | 4.98 | 24.39 | 2,227.33 | 91.31 |
| CPG-8 | 4.89 | 4.97 | 24.28 | 2,352.42 | 96.87 |
| CPG-9 | 4.89 | 5.00 | 24.42 | 3,094.91 | 126.73 |
| CPG-10 | 4.88 | 4.97 | 24.26 | 2,518.29 | 103.79 |
| CPG-11 | 4.91 | 5.05 | 24.78 | 2,213.40 | 89.34 |
| CPG-12 | 4.91 | 4.93 | 24.22 | 2,861.46 | 118.16 |
| CPG-13 | 4.93 | 4.85 | 23.90 | 1,683.69 | 70.44 |
| CPG-14 | 4.90 | 4.86 | 23.84 | 2,235.97 | 93.78 |
| CPG-15 | 4.87 | 5.00 | 24.37 | 3,028.15 | 124.26 |
| CPG-16 | 4.87 | 4.96 | 24.17 | 2,656.70 | 109.94 |
| CPG-17 | 4.89 | 4.87 | 23.82 | 2,716.25 | 114.04 |
| CPG-18 | 4.86 | 4.92 | 23.92 | 2,492.73 | 104.23 |
| CPG-19 | 4.91 | 4.80 | 23.54 | 3,679.27 | 156.27 |
| CPG-20 | 4.89 | 4.91 | 24.00 | 2,752.28 | 114.70 |
| CPG-21 | 4.89 | 5.02 | 24.52 | 2,264.45 | 92.36 |
| CPG-22 | 4.88 | 5.01 | 24.42 | 3,025.57 | 123.87 |
| CPG-23 | 4.89 | 4.87 | 23.79 | 3,407.48 | 143.20 |
| CPG-24 | 4.90 | 4.84 | 23.71 | 2,394.16 | 100.99 |
| CPG-25 | 4.88 | 4.99 | 24.32 | 2,947.12 | 121.17 |
| CPG-26 | 4.90 | 4.94 | 24.20 | 2,589.94 | 107.04 |
| CPG-27 | 4.89 | 5.00 | 24.45 | 2,925.09 | 119.61 |
| CPG-28 | 4.89 | 4.97 | 24.29 | 1,920.81 | 79.07 |
| CPG-29 | 4.87 | 4.92 | 23.98 | 2,608.03 | 108.76 |
| CPG-31 | 4.89 | 4.86 | 23.77 | 2,107.67 | 88.67 |
| CPG-32 | 4.89 | 4.92 | 24.08 | 3,231.55 | 134.21 |
| CPG-33 | 4.84 | 4.89 | 23.65 | 2,575.67 | 108.89 |
| VALOR MÍNIMO | | | | | 69.77 |
| VALOR MÁXIMO | | | | | 156.27 |
| PROMEDIO | | | | | 107.97 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR (CARGA MAXIMA) | | | | | 18.96 |
| MEDIANA | | | | | 107.90 |
| VARIANZA | | | | | 359.49 |

Para revisar si se debe descartar datos, se utilizó el siguiente método de estadística. Al valor máximo se resta la desviación estándar, y se obtiene el siguiente resultado: $156.27 - 18.96 = 137.31$

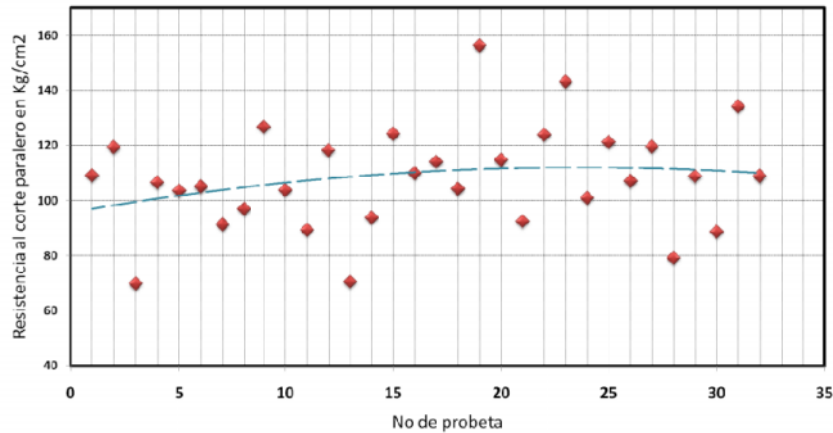
Del listado de los datos se revisaron cuales están por encima del resultado obtenido anteriormente; con esto se encontró que son dos las probetas que se encuentran sobre este, las probetas son: CPG-19 (156.27) y CPG-23 (143.27); para verificar si estos se deben descartar, este método determina que se deben tomar los datos anteriores y dividirlos por el promedio, si el resultado es menor que 0.50 se deben descartar la muestra; para este caso se obtiene que para CPG-19 es 0.69 y CPG-23 es 0.75; de acuerdo a lo anterior, no es necesario descartar ninguno de los datos ya que no encuentran datos atípicos de acuerdo a esto método.

Un punto de análisis adicionalmente a los datos obtenidos, son los tipos de fallas que se presentaron en las probetas y que se pueden observar en las imágenes adjuntas en el respectivo informe (anexo A). Las fallas presentadas en todas las probetas se dieron en la dirección de las fibras y en ninguno de los casos se presentaron en otro de los sentidos de la fibra, tal como se puede observar en la figura 4-27.

Figura 4-27: Vista lateral e inferior de falla típica del ensayo de corte paralelo al grano en teca



Como se puede observar en la Figura 4-28, los datos se encuentran concentrados y no están muy dispersos, por ésto, se puede concluir que el valor promedio de los datos de los ensayos de corte paralelo al grano es un dato característico de la madera teca utilizada en la investigación.

Figura 4-28: Gráfica de dispersión de datos de corte paralelo al grano en teca

Adicionalmente al comparar el valor promedio de las pruebas de 107.97 kg/cm^2 , con la resistencia al cizallamiento o corte de la madera natural de 111 kg/cm^2 , solamente hay una disminución porcentual del 97%, con ésto se ratifica que para el desarrollo de esta investigación se tomó como dato característico el valor promedio obtenido en las pruebas de laboratorio.

En la segunda etapa en esta parte de la investigación se realizó las pruebas de la resistencia mecánica del corte o cizallamiento en la línea de adhesivo, tomando como modelo el planteado por la NTC 2279. Para esto se inició con el maquinado inicial de lamelas de 30 mm de espesor con un tamaño de 5x50 cm. Luego de de esta etapa y teniendo en cuenta el alto contenido de humedad de la madera se realizó un procedimiento de secado por medio del horno del IIT.

Figura 4-29: Maquinado y secado de lamelas para ensayo de corte en la línea de adhesivo

Luego de esto se realizó un cepillado de las piezas hasta llegar a 20 mm de espesor y se realizó el encolado y prensado en cinco paquetes de dos tablillas por unas 24 horas a presión constante en la máquina de ensayo mecánica del taller de carpintería de la Facultad de Artes, después de esto se dejaron en reposo las piezas por 7 días y se procedió al maquinado final de las probetas de acuerdo a las dimensiones solicitadas por la normativa.

Figura 4-30: Prensado de probetas



Figura 4-31: Probeta para ensayo de corte en la línea del adhesivo



La siguiente etapa fue el ensayo en el mismo equipo de la prueba de cizallamiento, máquina universal de ensayo marca Hung Ta Ref. HT 2402 con capacidad de 20 toneladas (figura 4-26), el ensayo se realizó a una velocidad de 5 mm/min hasta la rotura de la probeta, a continuación se presenta un resumen de los datos (tabla 4-9), el informe completo puede verse en el anexo B.

Tabla 4-9: Resumen de datos de ensayo de corte en línea de adhesivo en teca

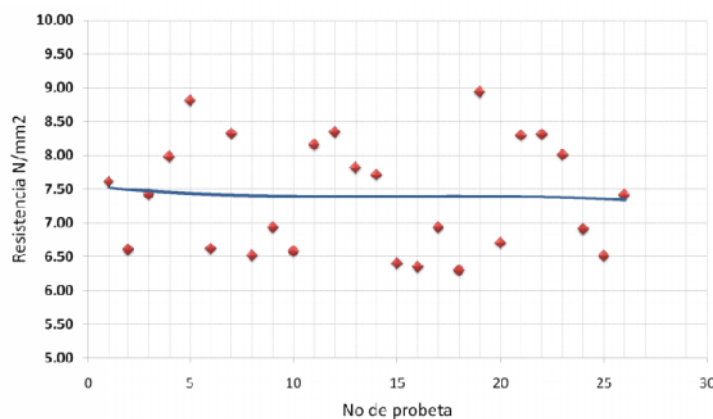
| Identificación de la probeta | Ancho de línea adhesivo (cm) | Altura de línea adhesivo (cm) | Area de línea adhesivo (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia (kg/cm ²) |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| CLA - 2 | 5.19 | 4.10 | 21.26 | 1,651.00 | 77.65 |
| CLA - 3 | 5.10 | 4.09 | 20.86 | 1,406.00 | 67.41 |
| CLA - 4 | 5.16 | 4.20 | 21.66 | 1,641.00 | 75.76 |
| CLA - 5 | 5.19 | 4.23 | 21.96 | 1,788.00 | 81.43 |
| CLA - 6 | 5.15 | 4.10 | 21.11 | 1,898.00 | 89.92 |
| CLA - 7 | 5.14 | 3.99 | 20.52 | 1,386.00 | 67.55 |
| CLA - 8 | 5.31 | 4.06 | 21.56 | 1,831.00 | 84.93 |
| CLA - 9 | 5.18 | 4.13 | 21.41 | 1,424.00 | 66.52 |
| CLA - 10 | 5.07 | 4.11 | 20.86 | 1,476.00 | 70.77 |
| CLA - 11 | 5.11 | 4.13 | 21.09 | 1,416.00 | 67.14 |
| CLA - 13 | 5.18 | 4.01 | 20.77 | 1,729.00 | 83.23 |
| CLA - 14 | 5.19 | 4.16 | 21.58 | 1,838.00 | 85.17 |
| CLA - 16 | 5.30 | 3.97 | 21.02 | 1,676.00 | 79.73 |
| CLA - 17 | 5.16 | 4.17 | 21.52 | 1,693.00 | 78.68 |
| CLA - 18 | 5.10 | 4.06 | 20.69 | 1,351.00 | 65.31 |
| CLA - 19 | 5.23 | 4.00 | 20.89 | 1,354.00 | 64.80 |
| CLA - 21 | 5.25 | 4.15 | 21.79 | 1,542.00 | 70.77 |
| CLA - 22 | 5.30 | 4.23 | 22.42 | 1,441.00 | 64.26 |
| CLA - 23 | 5.27 | 4.07 | 21.46 | 1,957.00 | 91.21 |
| CLA - 24 | 5.20 | 4.16 | 21.67 | 1,482.00 | 68.40 |
| CLA - 25 | 5.25 | 4.02 | 21.10 | 1,786.00 | 84.64 |
| CLA - 26 | 5.26 | 4.19 | 22.01 | 1,867.00 | 84.83 |
| CLA - 27 | 5.19 | 4.08 | 21.18 | 1,731.00 | 81.74 |
| CLA - 28 | 5.19 | 4.06 | 21.09 | 1,487.00 | 70.51 |
| CLA - 29 | 5.07 | 4.06 | 20.59 | 1,368.00 | 66.45 |
| CLA - 30 | 5.14 | 4.08 | 20.96 | 1,586.00 | 75.67 |
| VALOR MÍNIMO | | | | | 64.26 |
| VALOR MÁXIMO | | | | | 91.21 |
| PROMEDIO | | | | | 75.56 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR (CARGA MAXIMA) | | | | | 8.49 |
| MEDIANA | | | | | 75.71 |
| VARIANZA | | | | | 72.02 |

De la misma manera que la prueba anterior se revisó si se debían descartar datos, se tomó el valor máximo y al restarle la desviación estándar, se obtuvo el siguiente resultado: $91.21 - 8.49 = 82.73$

Del listado de los datos se revisaron cuáles están por encima del resultado obtenido anteriormente; con esto se encontró que son siete probetas que se encuentran sobre este, las probetas son: CLA-06 (89.92), CLA-08 (84.93), CLA-13 (83.23), CLA-14 (85.17), CLA-23 (91.21), CLA-25 (84.64) y CLA-26 (84.83); para verificar si estos se deben descartar, este método determina que se deben tomar los datos anteriores y dividirlos por el promedio, si el resultado es menor que 0.50 se deben descartar la muestra; para este caso se obtiene que para CLA-06 $=0.84$, CLA-08 $=0.89$, CLA-13 $=0.91$, CLA-14 $=0.89$, CLA-23 $=0.83$, CLA-25 $=0.89$ y CLA-26 $=0.89$; con lo anterior, no es necesario descartar ninguno de los datos ya que no encuentran datos atípicos de acuerdo a este método.

El primer análisis de los datos obtenidos en el nivel de dispersión, como se puede observar en la figura 4-32, los datos se encuentran en su mayoría agrupados, lo ratifica que el valor promedio de la prueba de 75.56 kg/cm^2 , es un valor característico de la resistencia al corte del adhesivo MUF en el uso de laminado en la especie teca.

Figura 4-32: Dispersión de datos de resistencia al corte en la línea del adhesivo en teca



Otro punto de análisis es la comparación del porcentaje de falla en la madera de las probetas y su relación de resistencia al corte de la línea de adhesivo, es importante afirmar que solamente en 4 de los casos, los datos se encuentran con un porcentaje de falla entre el 80% al 85% y los otros

datos se encuentran en el rango de porcentaje de falla de 95% al 100%, con lo cual se puede ratificar que los laminados con teca con adhesivos MUF no presentan problemas con esfuerzos al corte.

Figura 4-33: Dispersión de porcentajes de falla en la madera en el ensayo de corte en la línea del adhesivo

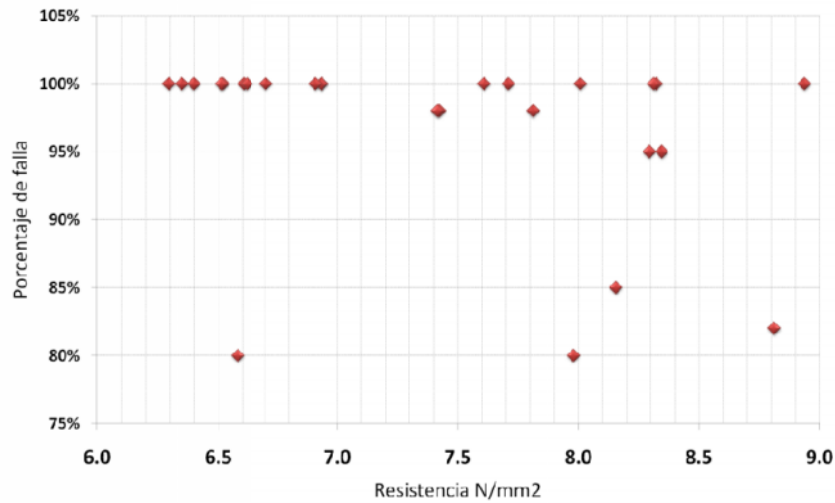


Figura 4-34: Imágenes de falla al corte en la línea del adhesivo en teca



a) Falla al 100% de la madera

b) Falla al 82% de la madera

Finalmente al comparar el valor promedio de la resistencia al corte de la línea de adhesivo (75.6 kg/cm^2) con el valor promedio de la resistencia al corte de madera maciza (107.9 kg/cm^2) se obtuvo que el porcentaje de disminución de resistencia fue un 30% lo que se encuentra dentro de las tolerancias internacionales.

Con esto se puede concluir en esta etapa de la investigación que los laminados en teca con adhesivos MUF no presentan mayores problemas con esfuerzos de corte de la línea de cola

porque se tiene un valor de resistencia que se encuentra dentro de las tolerancias internacionales y que gran porcentaje de falla se presenta en la madera y no en la línea de adhesivo, es importante aclarar que no se le realizó ningún tratamiento a la madera teca por las oleorresinas, que le brindan su mayor cualidad porque le dan una alta resistencia a la intemperie.

4.3 Comportamiento de flexión de pequeñas probetas de MLPE en teca

Uno de los principales esfuerzos a los que habitualmente son sometidas las estructuras MLPE es flexión, esto es debido a su gran capacidad de salvar grandes luces, es por esto que es importante analizar si existen problemas con el corte longitudinal de la línea de adhesivo que se produce al tener una estructura sometida a flexión.

Para esto y como se plantea inicialmente hacer una revisión del comportamiento de la línea de adhesivo sin realizar ningún tratamiento adicional a la madera teca por sus posibles problemas de encolado por su contenido de oleorresinas, por esto y como se ha mencionado anteriormente (4.1.3) se toma como modelo el método de ensayo las NTC 663, ya que al tener una prueba con un espécimen pequeño a flexión se puede tener una sola línea de cola en el centro de la probeta y así poder comprobar el efecto del corte longitudinal.

Igualmente que en el ensayo anterior se debió realizar un secado en el horno marca Thelco Ref. EW-52500-12 de la Universidad y después de esto realizar un cepillado 24 horas antes de realizar el encolado. Para el prensado de las probetas se utilizaron prensas manuales ya que por su tamaño de 80 cm no se pudo realizar este procedimiento en la máquina de ensayo mecánica y tampoco se puede utilizar la prensa de la Facultad de Artes porque este equipo está destinado para elementos de mayor tamaño.

Luego de esto se dejaron las probetas en reposo por siete días y se realizó el maquinado final para obtener una sección transversal de 40 x 40 mm con una longitud de 800 mm.

Figura 4-35: Cepillado, encolado, prensado y maquinado de probetas para ensayo de corte longitudinal por flexión

El procedimiento de ensayo se llevo a cabo como lo menciona la norma y se realizó el montaje en la máquina universal de ensayo marca Hung Ta Ref. HT 2402 con capacidad de 20 toneladas de la Facultad de Artes de la Universidad Nacional de Colombia (figura 4-36), la velocidad del ensayo fue 2.5 mm/min y se registraron los datos de resistencia, deformación y carga de rotura, en los respectivos informes de laboratorio anexo 3.

Figura 4-36: Montaje de prueba de corte longitudinal por flexión

De los informes de laboratorio (ver anexo C) se elaboró un resumen (tabla 4-10), donde se encuentra la resistencia a flexión encontrada de cada una de las probetas y se calculó el valor promedio de la prueba (867.72 Kg/cm²).

Tabla 4-10: Resumen de prueba de flexión de pequeñas probetas

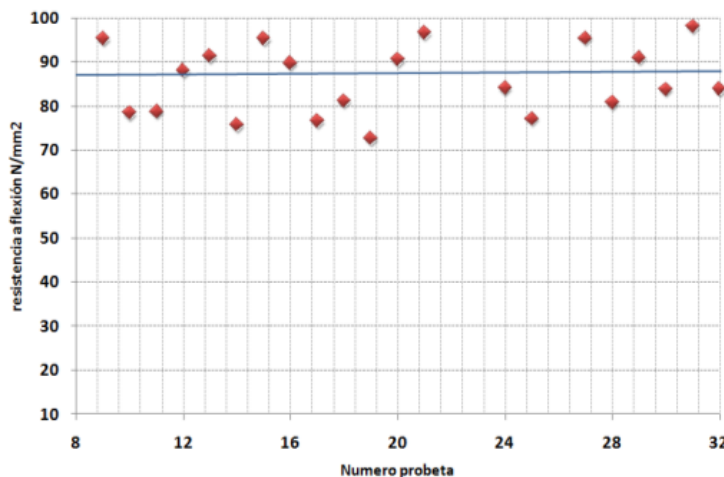
| NUMERO DE PROBETA | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Deformación (cm) | Contenido de Humedad | Resistencia máxima a la flexión - máx- (Kgf/cm ²) | Esfuerzo al limite proporcional -Sf- (Kgf/cm ²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm ²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm ²) |
|-------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| CLF - 01 | 3.74 | 3.52 | 69.00 | 391.10 | 2.31 | 12.20% | 870.19 | 827.62 | 107,491.67 | 22.23 |
| CLF - 02 | 3.70 | 3.69 | 69.00 | 312.55 | 1.84 | 12.40% | 642.16 | 617.44 | 82,362.73 | 17.17 |
| CLF - 03 | 3.77 | 3.68 | 69.00 | 392.18 | 2.11 | 14.00% | 794.34 | 725.52 | 91,216.52 | 21.18 |
| CLF - 04 | 3.92 | 3.74 | 69.00 | 530.59 | 3.30 | 15.70% | 1,001.16 | 896.49 | 83,698.23 | 27.15 |
| CLF - 05 | 3.74 | 3.62 | 69.00 | 379.12 | 1.82 | 18.90% | 798.85 | 754.90 | 100,406.11 | 20.98 |
| CLF - 06 | 3.35 | 3.61 | 69.00 | 425.68 | 2.70 | 12.50% | 1,013.02 | 951.87 | 91,888.67 | 26.47 |
| CLF - 07 | 3.39 | 3.75 | 69.00 | 402.84 | 2.18 | 16.00% | 875.17 | 822.01 | 91,224.80 | 23.79 |
| CLF - 08 | 3.94 | 3.66 | 69.00 | 498.10 | 2.91 | 16.80% | 975.58 | 915.26 | 99,405.36 | 25.90 |
| CLF - 09 | 3.62 | 3.46 | 69.00 | 400.69 | 2.60 | 15.50% | 958.12 | 886.50 | 92,990.75 | 23.99 |
| CLF - 10 | 3.51 | 3.58 | 69.00 | 341.27 | 1.89 | 14.50% | 787.74 | 746.19 | 100,496.53 | 20.41 |
| CLF - 11 | 3.37 | 3.65 | 69.00 | 343.33 | 2.71 | 18.00% | 791.06 | 734.57 | 75,277.67 | 20.93 |
| CLF - 12 | 3.21 | 3.58 | 69.00 | 351.42 | 2.83 | 17.50% | 885.21 | 812.26 | 78,205.26 | 22.94 |
| CLF - 13 | 3.36 | 3.68 | 69.00 | 403.64 | 3.19 | 16.00% | 918.38 | 727.61 | 112,415.81 | 24.50 |
| CLF - 14 | 3.29 | 3.64 | 69.00 | 320.78 | 1.89 | 16.40% | 761.16 | 729.64 | 100,079.04 | 20.09 |
| CLF - 15 | 3.88 | 3.57 | 69.00 | 456.56 | 2.72 | 13.20% | 958.07 | 874.22 | 84,870.63 | 24.77 |
| CLF - 16 | 3.56 | 3.52 | 69.00 | 384.56 | 2.43 | 12.40% | 901.74 | 836.99 | 91,906.11 | 23.00 |
| CLF - 17 | 3.52 | 3.71 | 69.00 | 359.66 | 2.78 | 18.40% | 769.83 | 698.21 | 66,143.79 | 20.67 |
| CLF - 18 | 3.92 | 3.53 | 69.00 | 384.46 | 2.70 | 16.50% | 815.28 | 605.81 | 85,469.04 | 20.85 |
| CLF - 19 | 3.44 | 3.66 | 69.00 | 324.94 | 1.96 | 15.00% | 730.13 | 691.97 | 91,155.41 | 19.37 |
| CLF - 20 | 3.61 | 3.46 | 69.00 | 380.53 | 3.30 | 13.40% | 909.58 | 854.20 | 78,970.80 | 22.82 |
| CLF - 21 | 3.65 | 3.51 | 69.00 | 343.85 | 2.52 | 12.70% | 790.32 | 723.97 | 77,061.26 | 20.13 |
| CLF - 22 | 3.18 | 3.49 | 69.00 | 362.65 | 3.09 | 17.90% | 971.42 | 872.03 | 89,331.97 | 24.56 |
| CLF - 23 | 3.36 | 3.51 | 69.00 | 407.06 | 3.11 | 14.50% | 1,017.54 | 950.18 | 82,020.37 | 25.88 |
| CLF - 24 | 3.44 | 3.76 | 69.00 | 396.21 | 3.02 | 15.10% | 844.52 | 811.89 | 72,587.35 | 23.00 |
| CLF - 25 | 3.86 | 3.65 | 69.00 | 384.56 | 2.80 | 14.30% | 775.11 | 721.72 | 71,919.17 | 20.49 |
| CLF - 26 | 3.52 | 3.62 | 69.00 | 455.98 | 2.59 | 16.40% | 1,022.84 | 990.01 | 99,142.83 | 26.83 |
| CLF - 27 | 3.70 | 3.51 | 69.00 | 422.35 | 3.15 | 12.80% | 959.04 | 857.46 | 89,731.32 | 24.40 |
| CLF - 28 | 3.72 | 3.57 | 69.00 | 371.87 | 2.32 | 11.90% | 811.17 | 735.66 | 86,489.42 | 21.00 |
| CLF - 29 | 3.33 | 3.55 | 69.00 | 371.16 | 3.19 | 15.70% | 914.63 | 845.01 | 79,065.44 | 23.54 |
| CLF - 30 | 3.69 | 3.69 | 69.00 | 409.35 | 2.79 | 13.40% | 841.66 | 822.51 | 78,221.65 | 22.52 |
| CLF - 31 | 3.83 | 3.77 | 69.00 | 518.59 | 2.91 | 15.60% | 985.58 | 880.67 | 84,753.46 | 26.94 |
| CLF - 32 | 3.86 | 3.58 | 69.00 | 403.55 | 2.39 | 16.40% | 842.94 | 782.93 | 89,270.35 | 21.87 |
| CLF - 34 | 3.56 | 3.56 | 69.00 | 306.32 | 3.04 | 11.90% | 701.39 | 430.01 | 77,924.98 | 18.11 |

| | | | | |
|------------------------------------|----------|--------|------------|-------|
| VALOR MÁXIMO | 1,022.84 | 990.01 | 112,415.81 | 27.15 |
| VALOR MÍNIMO | 642.16 | 430.01 | 66,143.79 | 17.17 |
| VALOR PROMEDIO | 867.72 | 791.92 | 87,369.53 | 22.68 |
| DESVIACION ESTANDAR (CARGA MAXIMA) | 99.62 | | | |
| MEDIANA | 870.19 | | | |
| VARIANZA | 9,924.52 | | | |

Se revisó si se debían descartar datos, se tomó el valor máximo y al restarle la desviación estándar, se obtuvo el siguiente resultado: $1022.84 - 99.62 = 923.22$

Del listado de los datos se revisaron cuáles estaban por encima del resultado obtenido anteriormente; con esto se encontró que son diez probetas que se encuentran sobre este, las probetas son: CLF-04 (1001.16), CLF-06 (1013.02), CLF-08 (975.58), CLF-09 (958.12), CLF-15 (958.07), CLF-22 (971.42), CLF-23 (1017.54), CLF-26 (1022.84), CLF-27 (959.04) y CLF-31 (958.58) ; para verificar si estos se deben descartar, este método determina que se deben tomar los datos anteriores y dividirlos por el promedio, si el resultado es menor que 0.50 se deben descartar la muestra; para este caso se obtiene que para CLF-04 =0.87, CLF-06 =0.86, CLF-08 =0.89, CLF-09 =0.91, CLF-15 =0.91, CLF-22 =0.89, CLF-23 =0.85, CLF-26 =0.85, CLF-27 =0.90 y CLF-31 =0.88; con lo anterior, no es necesario descartar ninguno de los datos ya que no encuentran datos atípicos de acuerdo a este método.

Figura 4-37: Gráfica de dispersión de valores de resistencia a flexión en prueba de corte longitudinal



Igualmente como en los ensayos anteriores se graficaron los datos con el fin de verificar que no estuvieran dispersos (figura 4-37), y poder tomar el valor promedio como característico de la resistencia a flexión, con base a ésto y comparando con el valor de la resistencia a flexión de la madera maciza en teca de la literatura (1005 kg/cm²), se analizó que la disminución porcentual es de un 14%, esto ratifica los datos obtenidos en los ensayos anteriores y que nuevamente se encuentra dentro de las tolerancias normativas de la madera laminada encolada.

Otro punto de análisis son los tipos de falla que se presentaron en las diferentes probetas y que se encuentran graficadas con su respectiva fotografía en los informes (anexo c), como lo indica la norma. Solamente en dos casos se presentaron fallas a compresión (probetas CLF-10 y CLF-13), en dos casos se presentaron fallas por grietas horizontales o fallas a corte longitudinal (probeta CLF-19 y CLF-29), en todos los otros casos se presentaron fallas a tensión, la cual es la falla típica que se deben encontrar en este tipo de ensayos a flexión.

Con los dos puntos anteriormente expuestos se puede concluir en esta etapa que no se presentan inconvenientes por corte longitudinal por flexión debido a que se tiene un alto porcentaje de resistencia (89%), en comparación de las pruebas realizadas con la resistencia de la literatura y adicionalmente no se presentaron fallas en las líneas de adhesivo porque en todos los casos se presentaron fallas en la madera.

4.4 Resistencia a la flexión de vigas tamaño estructura de MLPE en teca

El principal uso de las estructuras de MLPE son construcciones de cubiertas de escenarios deportivos (estadios, piscinas, etc.), centros de exposiciones, bodegas, centros comerciales y grandes superficies; otro uso que se ha dado en los últimos años es en la construcción de puentes peatonales y vehiculares; esto se ha dado principalmente porque “la madera laminada ha sido comparada con otros materiales como el acero y el concreto, debido a su alta durabilidad y resistencia a factores como el fuego” (Barrera, 2010), pero la principal ventaja es que “la madera también cuenta con una de las relaciones peso/resistencia más baja en comparación con materiales como el acero y el concreto” (Barrera, 2010).

Tabla 4-11: Relación de Peso/Resistencia de materiales

| Material | Densidad Kg/m ³ | Resistencia Kg/cm ² | Peso/Resistencia |
|----------|----------------------------|--------------------------------|------------------|
| Madera | 500 | 400 | 1.25 |
| Acero | 7,800 | 4,200 | 1.86 |
| Concreto | 2,400 | 300 | 8 |

FUENTE:(Barrera, 2010)

Por las anteriores características, las estructuras de MLPE se han posicionado como una de las principales alternativas para construcciones de medianas y grandes luces; por esto el principal esfuerzo al que se someten las estructuras de MLPE es flexión. De ahí la importancia de evaluar el comportamiento de flexión en este tipo de estructuras.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto y basándose en lo explicado en el numeral 4.1.4 se utilizó la norma NTC 5279, como guía para el ensayo de flexión de las vigas de tamaño estructural; a continuación se explicará el proceso de fabricación de las vigas.

Teniendo en cuenta que las piezas de madera teca, que se obtuvieron para la investigación, fueron de sección de 8x8 cm, se realizó un aserrado inicial para pasar a una sección más manejable (4x8 cm) y así poder facilitar el proceso de secado al aire libre. Para garantizar un secado homogéneo y evitar problemas de pudrición, se efectuó bajo techo y aislado de suelo, garantizando siempre la circulación libre de aire por cualquier dirección, con este proceso de seis meses, se logró que la madera llegara a un contenido de humedad promedio de 18%.

Figura 4-38: Proceso de secado al aire libre piezas de teca

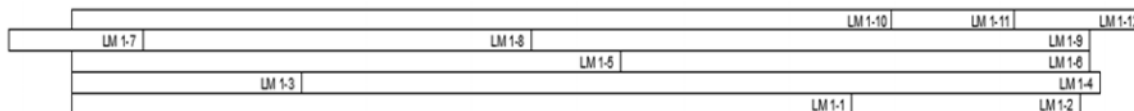
Durante esta etapa del proceso, se realizó paralelamente la clasificación visual de la madera (como se explicó en el numeral 4.1.5), luego de esto, ya con las lamelas libres de defectos, se efectuaron los ensambles en seco, tal como lo recomienda la literatura sobre proceso de fabricación de MLPE (Pérez, 1992).

Figura 4-39: Fotografía de ensamble en seco de vigas en teca

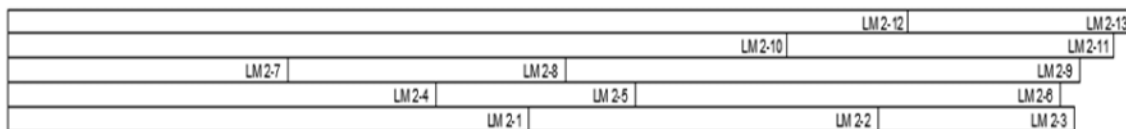


Como principio para configurar cada una de las vigas, se tomó como base para el espaciamiento de uniones de extremos o Finger Joint, lo recomendado por (NCh 2148, 2006) "La distancia entre uniones de extremos ubicadas en una misma lámina o en láminas adyacentes, debe ser mayor o igual a 150 mm" ; con base a esto, siempre se buscó que cuando se tuviera una unión finger joint en una de las lamelas o láminas, las otras piezas que conformaron verticalmente las viga no coincidieran en la misma línea con otra unión y que estuviera a una distancia mínima de 150 mm.

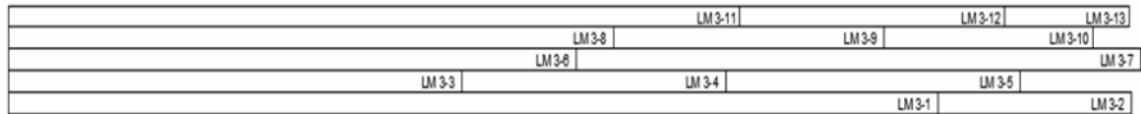
Para garantizar que después no se pierdan las piezas durante el proceso de secado, se marcaron cada una de las piezas que forman la lamela y se realizaron planos de las vigas (figura 4-40 a figura 4-49) como registro, para luego tener un control al momento de realizar los finger joint y el encolado de las vigas.

Figura 4-40: Ensamble en seco viga 1 de teca en MLPE

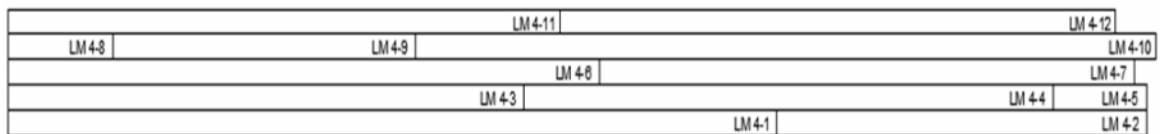
| NUMERO LAMELA | NUMERO DE PIEZA | LONGITUD |
|---------------|-----------------|----------|
| LM 1-1 | PZ-28 | 2.330 |
| LM 1-2 | PZ-11 | 0.683 |
| LM 1-3 | PZ-12 | 0.685 |
| LM 1-4 | PZ-9 | 2.388 |
| LM 1-5 | PZ-8 | 1.640 |
| LM 1-6 | PZ-21 | 1.400 |
| LM 1-7 | PZ-32 | 0.400 |
| LM 1-8 | PZ-12 | 1.160 |
| LM 1-9 | PZ-11 | 1.668 |
| LM 1-10 | PZ-10 | 2.447 |
| LM 1-11 | PZ-9 | 0.367 |
| LM 1-12 | PZ-28 | 0.387 |

Figura 4-41: Ensamblaje en seco viga 2 de teca en MLPE

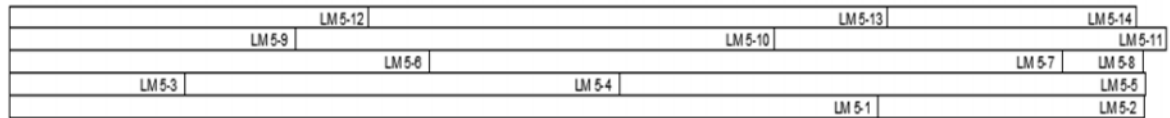
| NUMERO LAMELA | NUMERO DE PIEZA | LONGITUD |
|---------------|-----------------|----------|
| LM 2-1 | PZ-35 | 1.498 |
| LM 2-2 | PZ-32 | 1.005 |
| LM 2-3 | PZ-32 | 0.564 |
| LM 2-4 | PZ-12 | 1.232 |
| LM 2-5 | PZ-12 | 0.572 |
| LM 2-6 | PZ-35 | 1.225 |
| LM 2-7 | PZ-8 | 0.806 |
| LM 2-8 | PZ-28 | 0.800 |
| LM 2-9 | PZ-28 | 1.478 |
| LM 2-10 | PZ-14 | 2.240 |
| LM 2-11 | PZ-32 | 0.940 |
| LM 2-12 | PZ-27 | 2.590 |
| LM 2-13 | PZ-12 | 0.645 |

Figura 4-42: Ensamble en seco viga 3 de teca en MLPE

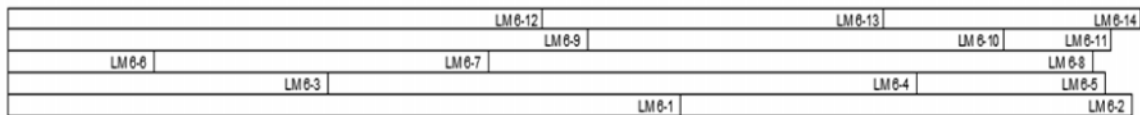
| NUMERO LAMELA | NUMERO DE PIEZA | LONGITUD |
|---------------|-----------------|----------|
| LM 3-1 | PZ-7 | 2.800 |
| LM 3-2 | PZ-20 | 0.584 |
| LM 3-3 | PZ-29 | 1.365 |
| LM 3-4 | PZ-32 | 0.796 |
| LM 3-5 | PZ-40 | 0.887 |
| LM 3-6 | PZ-40 | 1.712 |
| LM 3-7 | PZ-41 | 1.700 |
| LM 3-8 | PZ-40 | 1.820 |
| LM 3-9 | PZ-41 | 0.813 |
| LM 3-10 | PZ-10 | 0.630 |
| LM 3-11 | PZ-39 | 2.203 |
| LM 3-12 | PZ-39 | 0.800 |
| LM 3-13 | PZ-34 | 0.375 |

Figura 4-43: Ensamble en seco viga 4 de teca en MLPE

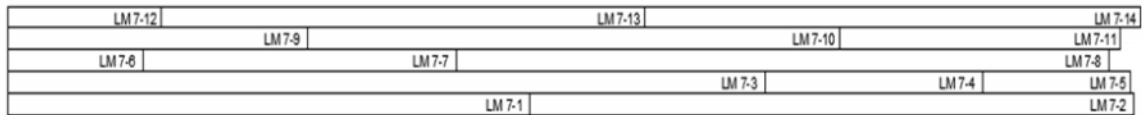
| NUMERO LAMELA | NUMERO DE PIEZA | LONGITUD |
|---------------|-----------------|----------|
| LM 4-1 | PZ-36 | 2.134 |
| LM 4-2 | PZ-17 | 1.026 |
| LM 4-3 | PZ-13 | 1.430 |
| LM 4-4 | PZ-34 | 1.470 |
| LM 4-5 | PZ-36 | 0.260 |
| LM 4-6 | PZ-38 | 1.640 |
| LM 4-7 | PZ-27 | 1.487 |
| LM 4-8 | PZ-13 | 0.290 |
| LM 4-9 | PZ-37 | 0.840 |
| LM 4-10 | PZ-23 | 2.056 |
| LM 4-11 | PZ-21 | 1.530 |
| LM 4-12 | PZ-19 | 1.545 |

Figura 4-44: Ensamble en seco viga 5 de teca en MLPE

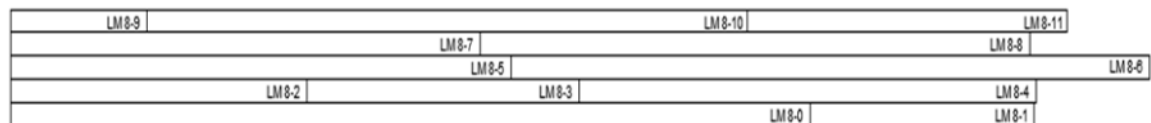
| NUMERO LAMELA | NUMERO DE PIEZA | LONGITUD |
|---------------|-----------------|----------|
| LM 5-1 | PZ-24 | 2.360 |
| LM 5-2 | PZ-15 | 0.725 |
| LM 5-3 | PZ-38 | 0.477 |
| LM 5-4 | PZ-35 | 1.180 |
| LM 5-5 | PZ-30 | 1.430 |
| LM 5-6 | PZ-26 | 1.140 |
| LM 5-7 | PZ-29 | 1.720 |
| LM 5-8 | PZ-18 | 0.220 |
| LM 5-9 | PZ-27 | 0.777 |
| LM 5-10 | PZ-26 | 1.300 |
| LM 5-11 | PZ-25 | 1.067 |
| LM 5-12 | PZ-16 | 0.975 |
| LM 5-13 | PZ-22 | 1.410 |
| LM 5-14 | PZ-19 | 0.677 |

Figura 4-45: Ensamble en seco viga 6 de teca en MLPE

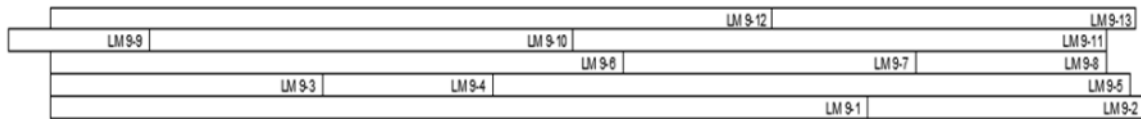
| NUMERO LAMELA | NUMERO DE PIEZA | LONGITUD |
|---------------|-----------------|----------|
| LM 6-1 | PZ-11 | 1.890 |
| LM 6-2 | PZ-26 | 1.270 |
| LM 6-3 | PZ-10 | 0.900 |
| LM 6-4 | PZ-8 | 1.655 |
| LM 6-5 | PZ-33 | 0.530 |
| LM 6-6 | PZ-19 | 0.410 |
| LM 6-7 | PZ-10 | 0.940 |
| LM 6-8 | PZ-17 | 1.698 |
| LM 6-9 | PZ-16 | 1.630 |
| LM 6-10 | PZ-8 | 1.170 |
| LM 6-11 | PZ-13 | 0.300 |
| LM 6-12 | PZ-17 | 1.500 |
| LM 6-13 | PZ-38 | 0.960 |
| LM 6-14 | PZ-25 | 0.723 |

Figura 4-46: Ensamble en seco viga 7 de teca en MLPE

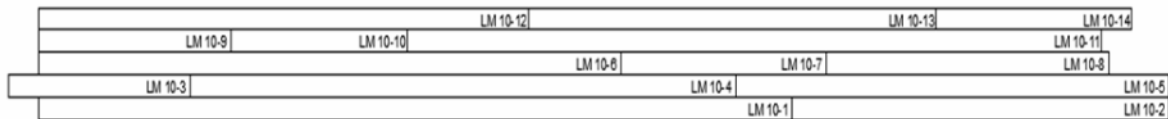
| NUMERO LAMELA | NUMERO DE PIEZA | LONGITUD |
|---------------|-----------------|----------|
| LM 7-1 | PZ-8 | 1.450 |
| LM 7-2 | PZ-30 | 1.680 |
| LM 7-3 | PZ-31 | 2.105 |
| LM 7-4 | PZ-38 | 0.605 |
| LM 7-5 | PZ-30 | 0.412 |
| LM 7-6 | PZ-16 | 0.375 |
| LM 7-7 | PZ-35 | 0.873 |
| LM 7-8 | PZ-22 | 1.815 |
| LM 7-9 | PZ-32 | 0.883 |
| LM 7-10 | PZ-26 | 1.480 |
| LM 7-11 | PZ-13 | 0.780 |
| LM 7-12 | PZ-19 | 0.425 |
| LM 7-13 | PZ-15 | 1.346 |
| LM 7-14 | PZ-35 | 1.380 |

Figura 4-47: Ensamble en seco viga 8 de teca en MLPE

| NUMERO LAMELA | NUMERO DE PIEZA | LONGITUD |
|---------------|-----------------|----------|
| LM 8-0 | PZ-13 | 2.430 |
| LM 8-1 | PZ-34 | 0.680 |
| LM 8-2 | PZ-23 | 0.900 |
| LM 8-3 | PZ-14 | 0.825 |
| LM 8-4 | PZ-20 | 1.390 |
| LM 8-5 | PZ-31 | 1.520 |
| LM 8-6 | PZ-32 | 1.940 |
| LM 8-7 | PZ-33 | 1.427 |
| LM 8-8 | PZ-22 | 1.670 |
| LM 8-9 | PZ-18 | 0.413 |
| LM 8-10 | PZ-14 | 1.825 |
| LM 8-11 | PZ-30 | 0.970 |

Figura 4-48: Ensamble en seco viga 9 de teca en MLPE

| NUMERO LAMELA | NUMERO DE PIEZA | LONGITUD |
|---------------|-----------------|----------|
| LM 9-1 | PZ-9 | 2.380 |
| LM 9-2 | PZ-36 | 0.810 |
| LM 9-3 | PZ-37 | 0.793 |
| LM 9-4 | PZ-33 | 0.498 |
| LM 9-5 | PZ-20 | 1.854 |
| LM 9-6 | PZ-25 | 1.668 |
| LM 9-7 | PZ-31 | 0.854 |
| LM 9-8 | PZ-9 | 0.555 |
| LM 9-9 | PZ-18 | 0.410 |
| LM 9-10 | PZ-20 | 1.230 |
| LM 9-11 | PZ-36 | 1.557 |
| LM 9-12 | PZ-37 | 2.100 |
| LM 9-13 | PZ-38 | 1.060 |

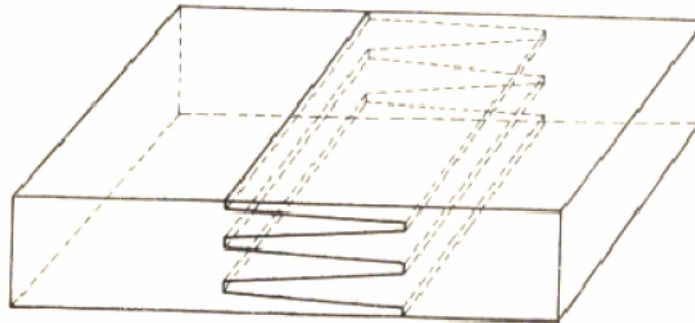
Figura 4-49: Ensamblaje en seco viga 10 de teca en MLPE

| NUMERO LAMELA | NUMERO DE PIEZA | LONGITUD |
|---------------|-----------------|----------|
| LM 10-1 | PZ-15 | 2.200 |
| LM 10-2 | PZ-17 | 1.100 |
| LM 10-3 | PZ-22 | 0.530 |
| LM 10-4 | PZ-23 | 1.590 |
| LM 10-5 | PZ-24 | 1.265 |
| LM 10-6 | PZ-7 | 1.700 |
| LM 10-7 | PZ-19 | 0.600 |
| LM 10-8 | PZ-16 | 0.825 |
| LM 10-9 | PZ-25 | 0.564 |
| LM 10-10 | PZ-29 | 0.513 |
| LM 10-11 | PZ-33 | 2.205 |
| LM 10-12 | PZ-29 | 1.430 |
| LM 10-13 | PZ-29 | 1.190 |
| LM 10-14 | PZ-21 | 0.570 |

Luego de hacer el ensamblaje en seco y esperar que la madera alcanzara el contenido de humedad deseado; se realizó el maquinado de las uniones finger joint; para este proceso se utilizó un

trompo para madera, al cual se le instaló una fresa que fue fabricada para que realizará la unión con orientación paralela, esto quiere decir que “el perfil de los dientes aparecen sobre el canto de la pieza”(NCh 2148, 2006).

Figura 4-50: Unión dentada con orientación paralela



FUENTE:(NCh 2148, 2006)

Luego del proceso de maquinado de las uniones finger joint, se realizó el encolado de estas uniones manualmente, y se dejaron en reposo; cuando alcanzaron la maduración, se realizó el cepillado de las piezas con 24 horas antes de realizar el encolado.

El proceso de encolado se realizó por método manual, para garantizar que algunas lamelas no se desplazarán mientras el proceso de encolado se utilizaron en promedio 3 a 4 puntillas por viga, las cuales no generan modificación en el esfuerzo al corte. Para el adhesivo se utilizó una dosificación, catalizador 2542 – resina 1242 (1:4); la cantidad de adhesivo utilizado para el encolado fue 450 gr/m² en una sola cara, como lo sugiere el manual del fabricante del adhesivo. (Akzo Nobel, 2001)

Para el prensado se utilizó la prensa hidráulica con capacidad de 250 kg/cm² del IIT de la Facultad de Artes, con una presión continua de 10 kg/cm², pasada una hora se realizó el reapriete como lo recomienda la bibliografía; la hora de inicio fue el 4 pm y la hora final 9 am del siguiente día, para así tener 17 horas de tiempo de prensa.

Figura 4-51: Prensado de Viga MLPE en Teca

Luego del prensado, se dejaron las vigas por 7 días sin movimiento para que se realizara el curado de la línea de cola, para hacer un cepillado y canteado de las vigas de madera.

Para realizar las pruebas mecánicas de las vigas a flexión, se utilizaron las instalaciones del Instituto Extensión e Investigación IEI de la Facultad de Ingeniería; los equipos utilizados fueron los siguientes:

- Sistema de soporte fabricado con vigas IPE.
- Cilindro hidráulico marca Enerpac Ref. RC1010 retorno simple capacidad máxima 10 toneladas desplazamiento de pistón 10".
- Bomba de mando manual marca Enerpac Ref. P80.
- Manómetro digital marca Ashcroft con válvula de control de flujo Ashcroft sensibilidad de 1 PSI capacidad Max de 10.000 PSI.
- Aceite hidráulico Shell Tellus 68.
- Para las deformaciones se utilizó comparador de caratula precisión 0.001 mm marca Mitutoyo Ref. ID-S 543; el montaje de se realizó como lo indica la norma (dos apoyos simples en los extremos, con dos cargas aplicadas a los tercios del elemento) figura 4-52.

Figura 4-52: Montaje de la prueba de Flexión vigas tamaño estructural.



Para las pruebas de las 10 vigas iniciales, por problemas de fabricación, se descartaron inicialmente dos vigas, porque se presentaron desplazamientos de las lamelas (VG-01 y VG-02). Al momento del montaje se presentaron problemas con dos vigas lo que generó que estas dos vigas también se descartaran (VG-05 Y VG-07); es por esto que para determinar el esfuerzo a flexión solo se tuvieron en cuenta 6 vigas en madera. A continuación en la tabla 4-12 se muestra un resumen de los datos de cada una de las vigas ensayadas que se extrajeron de los informes de las pruebas que se encuentran en el anexo D.

Tabla 4-12: Resumen de valores de resistencia a flexión de MLPE en Teca

| Numero de Viga | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Modulo de rotura -Sr- | Modulo elástico aparente -Ef- | Esfuerzo de corte -Tm- |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|
| | | | | (kgf/cm ²) | (kgf/cm ²) | (kgf/cm ²) |
| VG-01 | | | | | | |
| VG-02 | | | | | | |
| VG-03 | 5.70 | 15.00 | 270.00 | 1,205 | 130,108 | 16.73 |
| VG-04 | 5.60 | 14.60 | 270.00 | 829 | 137,121 | 11.21 |
| VG-05 | | | | | | |
| VG-06 | 5.70 | 14.80 | 270.00 | 1,388 | 114,029 | 19.02 |
| VG-07 | | | | | | |
| VG-08 | 5.80 | 15.10 | 270.00 | 584 | 50,712 | 8.17 |
| VG-09 | 5.60 | 14.90 | 270.00 | 870 | 126,185 | 12.00 |
| VG-10 | 5.50 | 15.20 | 270.00 | 1,412 | 132,846 | 19.87 |
| VALOR MINIMO | | | | 584 | 50,711.91 | 8.17 |
| VALOR MAXIMO | | | | 1,412 | 137,121.46 | 19.87 |
| PROMEDIO DE PRUEBAS | | | | 1,048 | 115,167 | |
| DATOS MADERA MACIZA EN TECA | | | | 1,005 | 108,170 | |
| PORCENTAJE DE DIFERENCIA | | | | 104% | 106% | |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | | | 337 | | |
| MEDIANA | | | | 1,037 | | |
| 5° PERCENTIL | | | | 646 | | |

Igual que las pruebas anteriores, se revisó si se debían descartar datos, se tomó el valor máximo y al restarle la desviación estándar, se obtuvo el siguiente resultado: $1412 - 337 = 1075$

Del listado de los datos se revisaron cuales están por encima del resultado obtenido anteriormente; con esto se encontró que son tres vigas que se encuentran sobre este, las probetas son: VG-03 (1205), VG-06 (1388) y VG-10 (1412); para verificar si estos se deben descartar, este método determina que se deben tomar los datos anteriores y dividirlos por el promedio, si el resultado es menor que 0.50 se deben descartar la muestra; para este caso se obtiene que para VG-03 = 0.87, VG-06 = 0.75 y VG-10 = 0.74; con lo anterior, no es necesario descartar ninguno de los datos ya que no encuentran datos atípicos de acuerdo a este método.

Al comparar los valores promedios de las pruebas se encuentra que el módulo de rotura (MOR) de las vigas de MLPE en teca, son mayores al valor MOR de la madera maciza en teca que se tiene de la bibliografía (4%), esto es explicable ya que los sistemas de MLPE presentan un aumento de resistencia respecto a la madera natural; esta afirmación es avalada por profesionales expertos en la producción de madera laminada en el país, un ejemplo es lo encontrado en el artículo de (Barrera, 2010):

Según el Ingeniero Fabián Echeverri, la alta durabilidad y rendimiento de este material tiene origen en su mantenimiento y tratamiento; de hecho, estas condiciones presentan índices mejores que los registrados por la madera común. A nivel de resistencia mecánica, es el proceso de encolado al que se someten las piezas, el responsable de aumentar hasta en un 30 por ciento la eficiencia de esta variable, en comparación con una pieza de madera maciza de igual sección.

Otro punto importante a resaltar son los tipos de falla que se presentaron en las vigas, en algunas vigas las fallas empezaron en los tercios medios de estas y se fueron en diagonal hacia la zona a tracción, en otras vigas las fallas se ocasionaron en la zona de tracción y en las demás la falla se presentó en una de las uniones de finger joint ubicadas en la zona de tracción; pero en ninguna de las vigas ensayadas fallaron en la zona a compresión.

También es importante señalar que las vigas que fallaron en las uniones finger, fueron las que presentaron los valores más bajos de resistencia. Estas fallas se presentaron por deficiencias en el proceso de fabricación de estas uniones, por esto es muy importante contar con el equipo más adecuado, un personal altamente calificado y un alto control de calidad en el proceso de maquinado, para evitar problemas de resistencia por deficiencias en la fabricación.

4.5 Comparación de resultados

Uno de los objetivos planteados dentro de la investigación, es la comparación de los resultados encontrados con los esfuerzos admisibles de la normativa europea y chilena y con los datos de

otras investigaciones de la Universidad Nacional (Liliana Rosero y Fernán Díaz). Pero la primer etapa en esta parte de la investigación, fue comparar los datos obtenidos con los valores de la madera maciza o natural, como se ha realizado a través de cada una de las pruebas realizadas en la investigación; es por esto que se presenta a continuación la tabla 4-13 como resumen.

Tabla 4-13: Comparación de valores de resistencia de madera maciza en teca Vs MLPE en teca

| Prueba de corte línea de adhesivo | | | |
|--------------------------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| | madera maciza en teca | MLPE en teca | porcentaje diferencia |
| resistencia al corte (kg/cm ²) | 107.97 | 75.56 | -30% |

| Prueba de corte longitudinal por flexión | | | |
|------------------------------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| | madera maciza en teca | MLPE en teca | porcentaje diferencia |
| Resistencia a la flexión (kg/cm ²) | 1005 | 867 | -14% |

| Prueba de flexión vigas de tamaño estructural | | | |
|-----------------------------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| | madera maciza en teca | MLPE en teca | porcentaje diferencia |
| Módulo de rotura (kg/cm ²) | 1005 | 1048 | 4% |
| Módulo elástico (kg/cm ²) | 108,170 | 115,167 | 6% |

De manera general y como se ha mencionado en cada una de las pruebas, en comparación con la madera maciza, las probetas de MLPE en teca, tuvieron un buen comportamiento, con un disminución del porcentaje de resistencia al corte en la línea del adhesivo del 30%, lo cual es aceptable; una disminución de la resistencia a flexión en la prueba de corte longitudinal del 14% lo cual se puede calificar como bueno; y en la prueba de flexión de vigas de tamaño estructural un aumento de módulo de rotura del 4% y del módulo elástico del 6% que se puede considerar como un excelente resultado.

Dentro de la comparación de resultados es importante evaluar el comportamiento de los ensayos realizados con las especies que habitualmente se usan en la fabricación de MLPE; por ésto, y tomando los datos de la sección 2.2, se presenta el siguiente cuadro comparativo en la tabla 4-10.

Tabla 4-14: Cuadro comparativo entre MLPE en teca Vs especies utilizadas por la industria.

| | MLPE en teca | Pino radiata | Pino silvestre | Pino oregón | Pino gallego |
|----------------------------------------|--------------|--------------|----------------|-------------|--------------|
| Módulo de rotura (kg/cm ²) | 1,048 | 874 | 1,057 | 860 | 795 |
| Módulo elástico (kg/cm ²) | 115,167 | 90,000 | 94,000 | 128,000 | 74,000 |

Figura 4-53: Gráfica de comparación de MOR de MLPE en teca, pino radiata, pino silvestre, pino Oregón, pino gallego

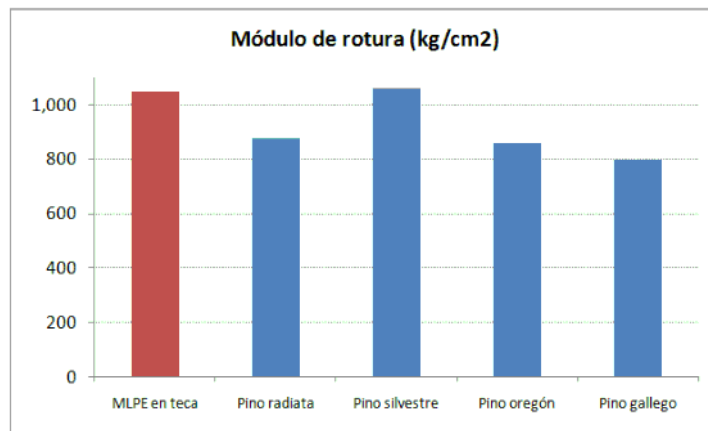
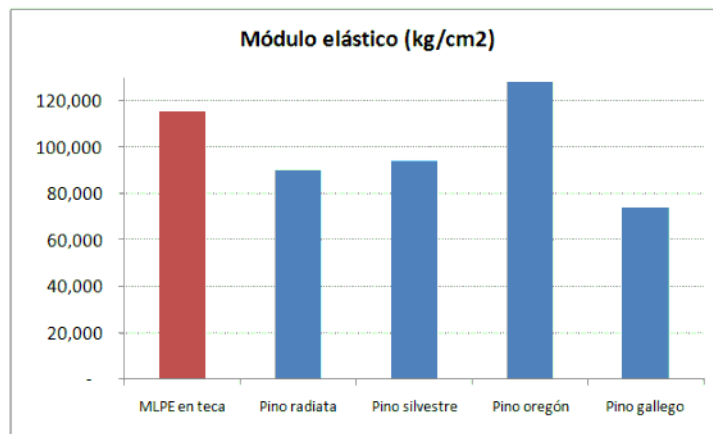


Figura 4-54: Gráfica de comparación de MOE de MLPE en teca, pino radiata, pino silvestre, pino Oregón, pino gallego



De la tabla 4-14 y la figura 4-53, se puede extraer que los resultados de módulo de rotura (MOR) de MLPE en teca están por encima a tres especies pino radiata, pino Oregón y pino gallego, con mayores valores de resistencia en un 17%, 16% y 24% respectivamente; solamente es superado por el pino silvestre con un diferencia del 1%.

En cuanto a su módulo elástico (MOE) y nuevamente revisando la tabla 4-14 y la figura 4-54, el MLPE en teca supera a especies de pinos como el radiata, silvestre y gallego con aumentos porcentuales de 22%, 18% y 36%, en este caso la especie que supera a los datos es el pino Oregón con un 11%; con esta comparación se tiene que los sistema de MLPE en teca presentan grandes ventajas en las medidas de resistencia y elasticidad en comparación a las coníferas que habitualmente se utilizan en la industria, con un aumento de módulo de rotura del 19% en promedio, y un aumento en el módulo elástico del 31%.

Otro punto de comparación que es importante de resaltar, y en la cual la teca tiene ventajas respecto a la especies de las coníferas son las características físicas, por esto se presenta en la tabla 4-15 un cuadro comparativo con los pinos mencionados anteriormente; de esta tabla se puede extraer que en cuanto a secado y relación de contracción tangencial y radial, la teca tiene valores y características muy similares a los pinos utilizados en la industria, pero la teca tiene ventajas por su alta resistencia natural, lo cual la hace muy atractiva para el uso de estructuras exteriores o con altos grados de humedad; adicionalmente por su pocos nudos, y en su mayoría sanos, presenta un ventaja en el maquinado por sus pocos defectos.

Tabla 4-15: Comparación de características físicas de la teca Vs Coníferas.

| | Teca (<i>tectona grandis</i>) | Pino Radiata (<i>Pinus Insignis</i>) | Pino silvestre (<i>Pinus Sylvestris</i>) |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Secado | La madera se estabiliza bien con el secado, pero ocurre lentamente. Seca fácilmente al aire presentando ligeras deformaciones, pero no endurecimientos ni tensiones superficiales. El secado al horno es bueno, sin tendencia a rajaduras o alabeos. | El secado de la madera al aire se puede calificar, en general, de rápido y de buena calidad. En el secado artificial y debido a su gran permeabilidad, los secaderos deberán tener una alta capacidad calorífica y elevadas velocidades de circulación del aire. La calidad del secado suele ser alta. Los defectos más frecuentes son las deformaciones debidas a la elevada nudosidad de la madera y a la presencia de la madera juvenil. | La madera de seca al aire rápidamente y sin deterioro de su calidad, pero debido a su tendencia al azulado deberá tratarse con productos antiazulado o secarse rápidamente después de su aprovechamiento. En el secado artificial el riesgo de azulado es menor. |
| Durabilidad natural | Es resistente, con una duración en uso exterior de 10 a 15 años. El duramen es resistente al ataque de la termitas de madera seca, en este aspecto. Es moderadamente resistente a los termes subterráneos y muy durable en el suelo, pero fácilmente atacada por la polilla de mar. | La madera es clasificada como poco durable o no durable frente a la acción de los hongos y sensible al ataque de insectos. | Esta clasificada como poco durable, con gran diversidad de comportamiento, frente a la acción del hongo xilofago y sensible a los insectos |
| Trabajabilidad | Es una madera fácil de trabajar con herramientas comunes y no ofrece ninguna dificultad a los procesos de maquinado. La madera posee contenidos variables de Silice que llegan hasta el 1.4% lo cual hace que sea abrasiva siendo por lo tanto necesario utilizar herramientas con filos reforzados. es una madera moderadamente buena para doblar al vapor. Da un buen acabado y se deja encolar fácilmente | El aserrado se realiza con facilidad y se puede utilizar equipos convencionales. Se mecaniza con facilidad, aunque en proximidades de los nudos se pueden producir desfibrados. | El aserrado se realiza sin dificultad utilizando equipos convencionales. El mecanizado no suele presentar problemas, aunque la mayor o menor a facilidad de trabajo depende del tamaño y cantidad de nudos y cantidad de resina que tenga. El cepillado y el modurado debe utilizar los útiles bien afilados, ya que es frecuente la aparición de una superficie ondulada en forma irregular. |
| Relación de Contracción (T/R) $\frac{\text{Tangencial}}{\text{Radial}}$ | 1.67 | 1.45 | 1.65 |

Fuente: Elaborada por el autor

| | Pino Oregón (<i>Pseudotsuga menziesii</i>) | Pino Gallego (<i>Pinus Pinaster</i>) |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Secado | El secado presenta ligeros riesgos de que se produzcan fendas superficiales y de testas; riesgos de exudaciones de resina en los nudos de grandes dimensiones y en las bolsas de resina, que pueden formar finas líneas de color marrón en las superficies longitudinales; y riesgos de que se produzcan coloraciones. | La velocidad de secado es rápida. Presenta ligeros riesgos de que se produzcan deformaciones y de que aparezcan fendas. Además del secado convencional en cámara también se ha utilizado con éxito el secado a alta temperatura (100°) que permite secarlo en pocas horas. |
| Durabilidad natural | La madera ésta clasificada como medianamente durable o poco durable frente a la acción de los hongos y sensible a los insectos. | La madera es clasificada como medianamente y poco durable a los insectos. La madera del duramen es sensible al azulado. |
| Trabajabilidad | El aserrado se realiza sin dificultad, aunque la resina puede embotar ligeramente las sierras. El mecanizado no presenta dificultades, aunque los nudos saltadizos pueden generar problemas. El mecanizado de la madera procediente de Europa es, en general, más difícil de trabajar debido a la gran presencia de nudos duros. | El aserrado es fácil, aunque la presencia de resina puede embotar las sierras y provocar calentamiento. El mecanizado es relativamente fácil, pero en abundancia de nudos puede producir y la presencia de resina puede embotar los utiles. |
| Relación de Contracción (T/R) Tangencial Radial | 1.59 | 1.40 |

Fuente: Elaborada por el autor

Dentro de los puntos de la investigación, se tenía la verificación de clasificación de los resultados de MLPE en teca con la norma chilena y europea; para estas dos normas se basan en la técnica estadística del percentil; el primer paso que solicita las normas es obtener la medida de resistencia en el 5° percentil, esto teniendo en cuenta lo siguiente. (Arriaga & Blasco, 2007) "Como valor se toma el 5° percentil, que es el que separa los datos de la muestra, entre el 5% y el 95% restante, ello indica que sólo existe una probabilidad del 5% de encontrar resistencias o módulos inferiores".

Por esto de la tabla 4-12 (resumen de valores de resistencia a flexión de MLPE en teca) se toma el valor del 5° percentil de 646 kg/cm²

Para comparación de la normativa chilena se toma como referencia la norma (NCh 2165, 1991) la cual dice: "Las vigas que se diseñan con los valores tabulados y se ensayan de acuerdo a las prescripciones de la norma ASTM D 198 darán resistencias tales que el percentil de 5% de exclusión de la muestra formada por estas resistencias, excederá 2,1 veces la tensión básica tabulada: $S_r = 2,1 F_{b,f}$."

Donde:

S_r = Módulo de rotura de las vigas ensayadas en el 5° percentil (584 kg/cm²)

$F_{b,f}$ = Resistencia a la flexión admisible según la norma (NCh 2165, 1991) 19 Mpa (193.74 Kg/cm²) dato tomado de la tabla 2-6.

Teniendo en cuenta lo anterior y aplicando la expresión anteriormente explicada se tiene.

$$646 \text{ kg/cm}^2 \quad 2.1 * 193.74 \text{ kg/cm}^2$$

$$646 \text{ kg/cm}^2 \quad 406.85 \text{ kg/cm}^2$$

Teniendo en cuenta lo anterior, se tiene que los resultados encontrados de las muestras cumplen con la normativa chilena y que tienen un aumento de Resistencia de 58% respecto a las resistencias admisibles de MLPE en pino radiata.

Por otro lado, para la comparación con la norma europea se tomará como base el código técnico de la construcción (Ministerio de Vivienda - España, 2003) la cual para la clasificación de la madera laminada y basándose en la tabla 2-5 comenta:

1) La madera laminada encolada, para su uso en estructuras, estará clasificada quedando asignada a una clase resistente (ver procedimiento de asignación en el Anexo D).

2 Las clases resistentes son:

a) para madera laminada encolada homogénea: GL24h, GL28h, GL32h y GL36h;

b) para madera laminada encolada combinada: GL24c, GL28c, GL32c y GL36c.

En las cuales los números indican el valor de la resistencia característica a flexión, $f_{m,g,k}$, expresada en N/mm².

De lo anterior es importante aclarar que la normativa en Europa, separa la madera laminada en dos grupos, homogénea, cuando la madera es de una sola especie y con iguales características de calidad; y combinada, cuando se fabrican elementos de MLPE con diferentes especies de madera (maderas blandas en el centro del elementos y maderas duras a los extremos) y por consiguiente con diferentes características de calidad; por esto se eligió el grupo homogéneo para clasificar la MLPE en teca teniendo en cuenta que no se combinó con otra especie; por esto se muestra la tabla 4-17 con los valores de MLPE homogénea.

4-16: Madera laminada encolada homogénea. Valores de las propiedades asociadas a cada clase resistente

| Propiedades | | clase resistente homogénea | | | |
|-----------------------------------|--------------|----------------------------|-------|-------|-------|
| | | GL24h | GL28h | GL32h | GL36h |
| Resistencia, en N/mm ² | | | | | |
| Flexión | f m.g.k | 24 | 28 | 32 | 36 |
| Tracción paralela | f t.0.g.k | 16.5 | 19.5 | 22.5 | 26 |
| Tracción perpendicular | f t.90.g.k | 0.4 | 0.45 | 0.5 | 0.6 |
| Compresión paralela | f c.0.g.k | 24 | 26.5 | 29 | 31 |
| Compresión perpendicular | f c.90.g.k | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 3.6 |
| Cortante | f v.g.k | 2.7 | 3.2 | 3.8 | 4.3 |
| Rigidez, en kN/mm ² | | | | | |
| MOE paralelo medio | E 0.g.medio | 11.6 | 12.6 | 13.7 | 14.7 |
| MOE paralelo 5° percentil | E 0.g.k | 9.4 | 10.2 | 11.1 | 11.9 |
| Módulo transversal medio | E 90.g.medio | 0.39 | 0.42 | 0.46 | 0.49 |
| MOE perpendicular medio | G g.medio | 0.72 | 0.78 | 0.85 | 0.91 |
| Densidad, en kg/m ³ | | | | | |
| Densidad característica | r g.k | 380 | 410 | 430 | 450 |

Nota: la resistencia a la flexión en kg/cm², de cada clase es: GL24h (244.72), GL28h (285.51), GL32h (326.29) y GL36h (367.08).

El anexo D de este código (asignación de clase resistente. Madera laminada encolada), da la justificación de la clasificación de la MLPE en estos grupos; "Debido a la gran variedad de posibilidades de conformar la madera laminada encolada, en un elemento estructural, y las

diferentes normas de clasificación se establecen previamente, mediante normas, unos requisitos mínimos de fabricación y se recurre al sistema de clases resistentes, para evitar una excesiva complejidad, reuniendo en un número limitado los grupos con propiedades similares” (Ministerio de Vivienda - España, 2003).

Para la clasificación de la madera en estos grupos el código presenta dos alternativas; la primera mediante ensayos, y la segunda por deducción teórica partiendo de la propiedades de la lámina de la madera; teniendo en cuenta que se cuenta con los ensayos para MLPE en teca, se decidió utilizar el primer método y el cual se debe tener en cuenta que, “los valores obtenidos de las propiedades, mediante ensayos, deben ser superiores, o iguales, a los correspondientes a la clase resistente a asignar”.

Por esto y partiendo que la resistencia a la flexión en el 5° percentil de las muestras es 646 Kg/cm², la MLPE en teca se puede clasificar según la norma europea en la clase GL36h (367.29 kg/cm²), con lo cual se tendría un factor de seguridad del 59% con la resistencia más baja y del 185% con la resistencia promedio de las pruebas. A continuación se muestra la tabla 4-17 como resumen de las comparaciones con la normativa internacional.

4-17: Porcentajes de aumento de resistencia de MLPE en teca Vs esfuerzos admisibles de normativa chilena y europea

| Esfuerzos admisibles a flexión según cada norma (kg/cm ²) | | Medidas de resistencia MLPE en teca (kg/cm ²) | | | |
|-----------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------|--------|----------|------|
| | | 5o Percentil | Mínima | Promedio | Alta |
| | | 646 | 584 | 1048 | 1412 |
| Normativa chilena | 406.85 | 59% | 44% | 158% | 247% |
| Normativa europea | 367.29 | 76% | 59% | 185% | 284% |

Finalmente como se había propuesto en un principio de la investigación, se realizó la comparación de los resultados obtenidos con las investigaciones que se han desarrollado en la

Universidad Nacional; hay que resaltar que para realizar la comparación se tomaron los valores promedios de las pruebas realizadas en cada investigación.

Tabla 4-18: Comparación de MLPE en Teca Vs MLPE en caracolí y Gmelina Arborea

| PROPIEDADES | Resistencia MLPE en teca | | | Caracolí | Gmelina arborea |
|--------------------------------------|--------------------------|----------|---------|----------|-----------------|
| | Mínima | Promedio | Máxima | Promedio | Promedio |
| MOR (kg/cm ²) | 584 | 1,048 | 1,412 | 426 | 464 |
| MOE (kg/cm ²) | 50,712 | 115,167 | 137,121 | 84,245 | 72,641 |
| DENSIDAD BASICA (kg/m ³) | 530 | | | 340 | 460 |

Figura 4-55: Comparación MOR entre MLPE en teca, Caracolí y Gmelina

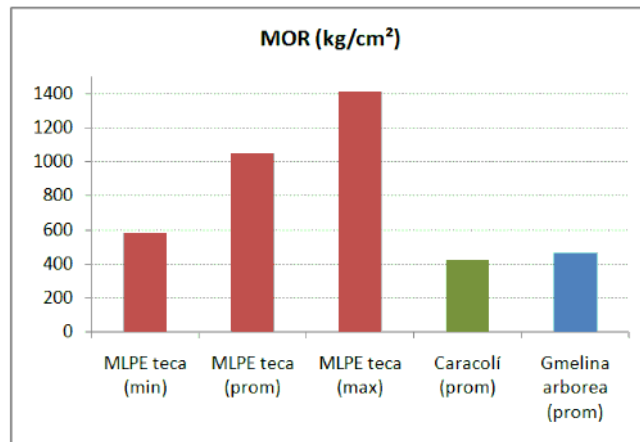
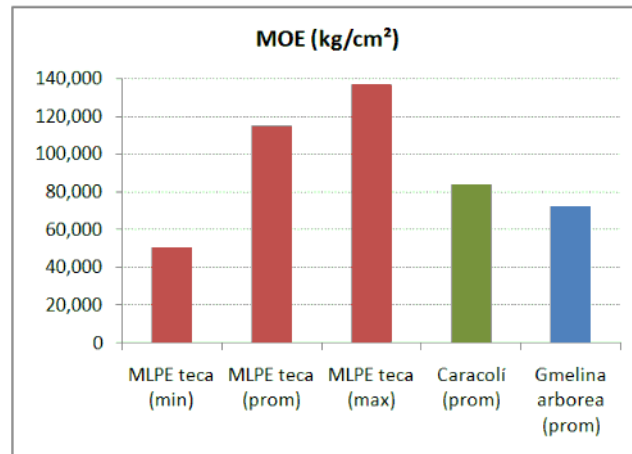


Figura 4-56: Comparación MOE entre MLPE en teca, Caracolí y Gmelina



Al revisar la tabla 4-19, y al comparar los datos de MLPE en teca con MLPE en caracolí (Rosero, 1998), los resultados en teca tienen un buen comportamiento, con aumentos en los valores promedios de flexión y módulo de elasticidad del 146% y 36% respectivamente. Si se comparan con los valores mínimos (5° percentil de las muestras) se tiene que en flexión, hay un aumento del 37% y el módulo de elasticidad presenta una disminución del 60%; pero al compararlo con las cifras de la muestra con mas alta resistencia se tiene que en flexión y módulo de elasticidad se presenta aumentos del 231% y 62% respectivamente.

En comparación con los datos de MLPE de la gmelina arborea (Díaz, 2002), se tiene un comportamiento similar; al comparar los resultados de la teca a flexión; en sus valores mínimo, promedio y máximo, se tiene aumentos de resistencia del 25%, 125% y 204% respectivamente, en cuanto al módulo de elasticidad se tiene un disminución en su valor mínimo del 69%, pero igualmente se presentan mayores valores en el valor promedio y alto de 58% y 88%.

Esto es completamente lógico porque la madera teca tiene una mayor densidad que las otras dos especies. Lo que afirma la característica natural de las maderas de que ha mayor densidad mayores valores de resistencia y hasta el momento también es aplicable a estructuras de MLPE.

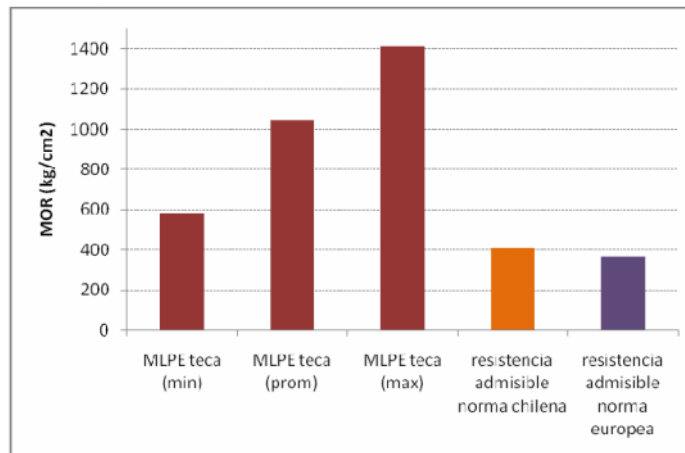
Finalmente se muestra las figuras 4-57 y 4-58 como resumen de la comparación por medio de barras de MOR y MOE con cada una de las especies y resistencias admisibles según la norma chilena y norma europea.

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Del análisis de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas de MLPE en teca, se puede concluir de manera general, que es muy posible el uso de esta especie en esta tecnología constructiva, ya que presentan medidas de resistencias que se encuentran por encima las tolerancias de la normativa internacional (figura 5-1), lo que generaría iguales o mayores luces y cargas que se hacen con especies como las coníferas pero con reducciones en las secciones de los elementos; adicionalmente no se presentaron problemas de encolado, lo que ratifica físicamente lo que se tienen en la bibliografía de esta especie.

Figura 5-1: Comparación MLPE en teca, normativa chilena y normativa europea



El laminado en teca presenta características físicas superiores a las especies que habitualmente se usan en la industria de MLPE (figuras 5-2 y 5-3); su alta durabilidad, da la posibilidad de realizar estructuras al exterior o lugares con alto contenido de humedad, lo que facilitaría su mantenimiento y bajaría los costos porque no es necesario el uso de preservantes; su fácil aserrado y maquinado podría bajar tiempos en los procesos de producción, ya que se evitarían re-procesos por problemas como desfibrados o desprendimiento de nudos; su bajo número de nudos respecto a las coníferas bajaría la cantidad de desperdicio, y aunque el secado al aire libre no es muy rápido, se puede realizar por medio de hornos y por su buena estabilidad no presenta problemas de contracciones que puedan generar defectos y aumentos en los desperdicios.

Figura 5-2: Comparación MOR de MLPE en teca con diferentes especies y esfuerzos admisibles

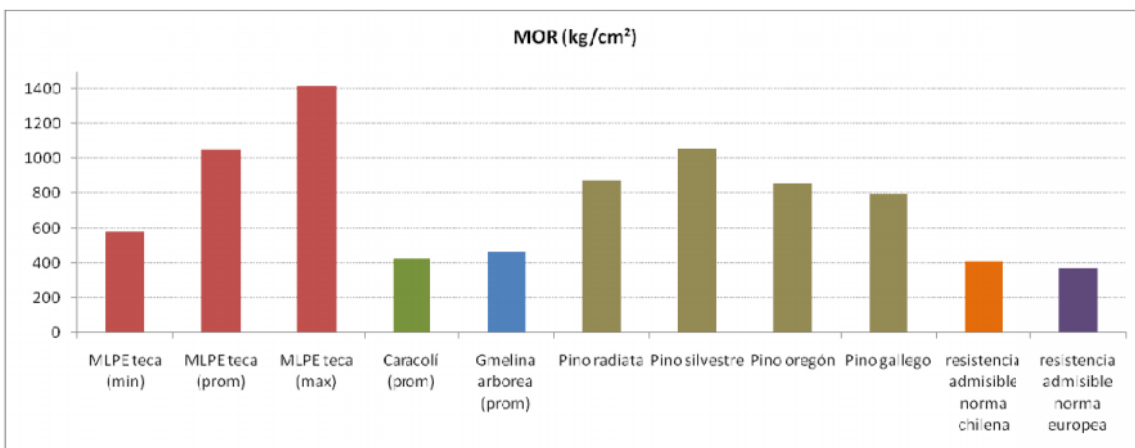
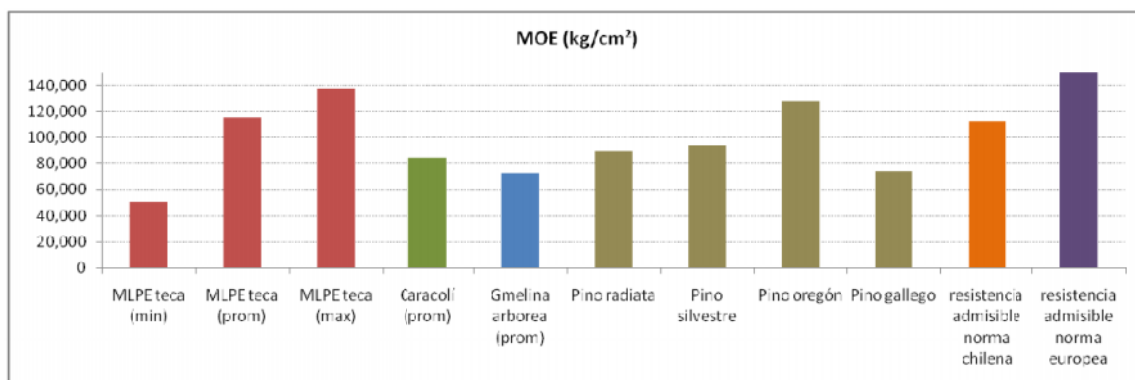
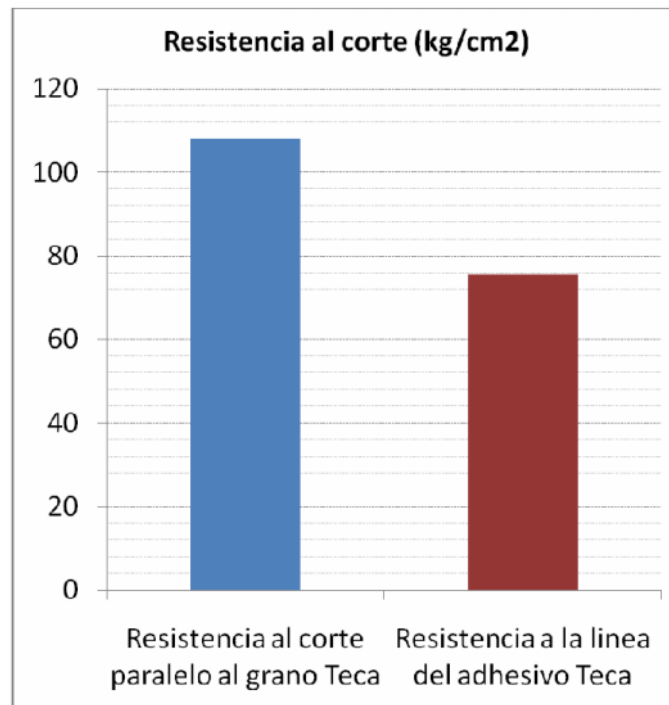


Figura 5-3: Comparación MOE de MLPE en teca con diferentes especies y esfuerzos admisibles

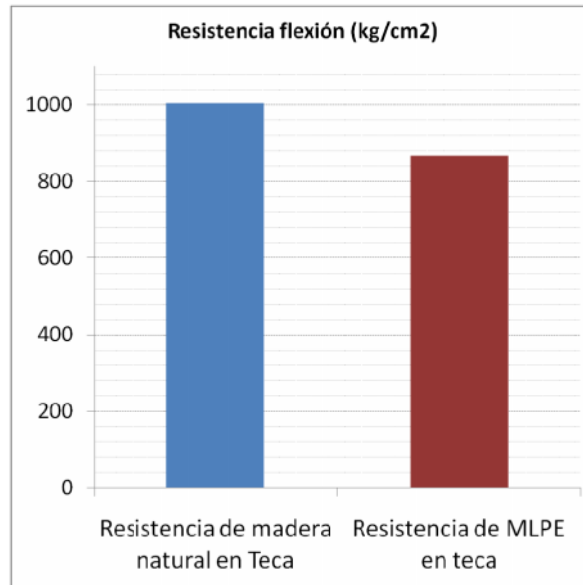


La resistencia en la línea del adhesivo de MLPE en teca, solamente dio una disminución del 30% respecto a la resistencia a la madera al corte paralelo al grano (figura 5-4), esta medida se encuentra dentro de las tolerancias internacionales; adicionalmente las fallas presentadas dentro de estas pruebas se presentaron por la madera y no por la línea de encolado, lo que ratifica que para esta especie no se presenta problemas de encolado, utilizando adhesivos MUF.

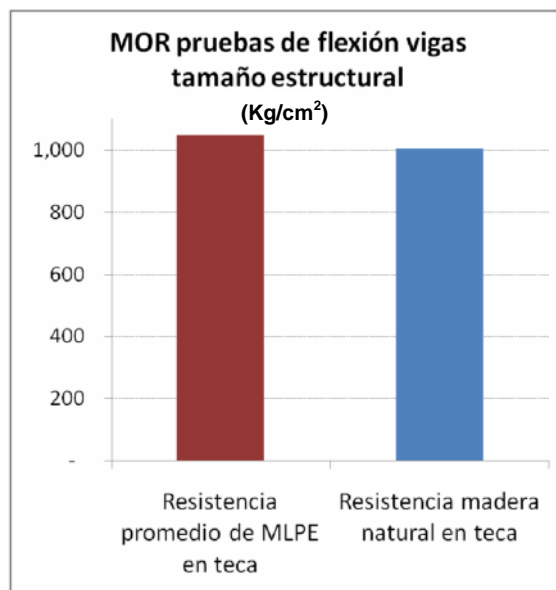
Figura 5-4: Comparación de Resistencia al corte paralelo al grano y resistencia a la línea del adhesivo



Los valores de flexión de las pruebas de corte longitudinal, presento una disminución del 14% respecto a la resistencia de madera maciza en teca (figura 5-5), e igualmente no se presentaron fallas en la línea longitudinal del adhesivo, esto ratifica los valores numéricos obtenidos; y se puede concluir que en cuanto a la resistencia al corte de la línea de adhesivo y la resistencia al corte longitudinal por flexión los elementos de MLPE en teca no presentan problemas en esfuerzos al corte.

Figura 5-5: Comparación de resistencia de la flexión en prueba de corte longitudinal

En las pruebas de resistencia a la flexión de vigas de tamaño estructural, se obtuvo un valor promedio por encima (104%) de la medida de resistencia de flexión de madera natural (figura 5-6). Pero es importante resaltar la importancia en el control de calidad de maquinado de las uniones de finger joint y el maquinado y prensado de las piezas, para evitar problemas de calidad de los elementos fabricados.

Figura 5-6: Comparación MOR de MLPE en teca y madera natural en teca

Finalmente al comparar los resultados de MLPE en teca con la normativa internacional, se encuentra que se superan en un gran porcentaje (figura 5-1), las medidas de resistencias admisibles, lo que posibilita que los elementos de MLPE en teca puedan estar clasificados en los más altos rangos de resistencias actuales. También es importante resaltar que los datos obtenidos son congruentes con las investigaciones de maderas tropicales en MLPE, realizadas en la Universidad Nacional, ya que al utilizar una madera de mayor densidad, los valores de resistencia también fueron mayores (figuras 5-2 y 5-3).

5.2 Recomendaciones

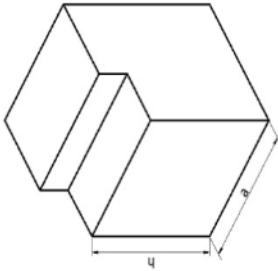
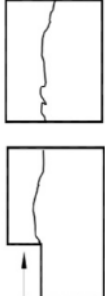
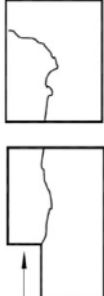
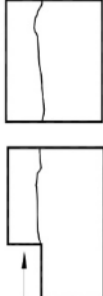
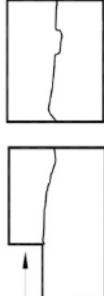
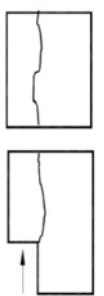
Es importante realizar la caracterización definitiva de MLPE en teca, respecto a sus otras propiedades físico y mecánicas como: compresión, tracción y delaminación, con el fin de poder determinar el uso de esta especie en otros tipos de esfuerzo, lo que posibilita un mayor rango de aplicaciones dentro de la construcción.

Se debe prestar atención al maquinado, control de calidad y pruebas mecánicas de las uniones finger joint, teniendo en cuenta las fallas presentadas dentro de los ensayos se encontraban en estas uniones en la zona de tracción.

Aunque el propósito de la investigación era utilizar la especie en teca sin generar cambios en los procesos de fabricación habitualmente utilizados en los MLPE con coníferas, y con lo cual se obtuvieron los resultados anteriormente expuestos, es importante aclarar que se pueden investigar diferentes métodos para eliminar superficialmente las oleorresinas y minimizar su posible efecto que puede tener con la adhesividad de las piezas o lamelas.

Otro punto que es bueno explorar, es el amplio abanico de tipos de especies tropicales que tiene el país; pero inicialmente es necesario poder caracterizarlas en todas sus propiedades físico y mecánicas como madera sólida o maciza, y así luego poder evaluar el uso de estas especies en sistemas de MLPE, para ampliar sus campos de acción y usos.

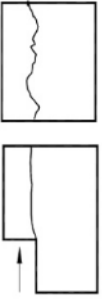
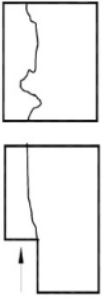
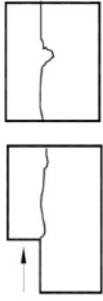
A. Anexo: Informe de pruebas de corte paralelo al grano

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | ENSAYO | | CORTE PARALELO AL GRANO | | ESQUEMA DE PROBETA | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| | | NORMA: FECHA: | | NTC 775 16 de marzo de 2011 | |  | | | | |
| TRABAJO DE GRADO | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | | | | |
| AUTOR | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA | | 550 | | | | |
| DIRECTOR | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | 4.19% | | | | |
| | | OBJETIVO ESPECÍFICO NUMERO 2 | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | | 85% | | | | |
| | | | | TEMPERATURA LUGAR | | 13°C | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO EL SINDU | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | | | | |
| | | | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | 6 mm/milr | | | | |
| Identificación de la probeta | Superficie de rotura | Ancho de la sección -a- (cm) | Altura de la sección -h- (cm) | Area de la sección (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia (kg/cm ²) | Resistencia (N/mm ²) | Contenido de humedad (%) | Observaciones | Diagramas |
| CPG-1 | T | 4.866 | 4.732 | 23.026 | 2513.1 | 109.14 | 10.70 | 4.90% | FALLO COMPLETAMENTE |  |
| CPG-2 | R | 4.857 | 4.989 | 24.232 | 2891.2 | 119.32 | 11.69 | 5.40% | FALLO POR LA ZONA FRONTAL DE LA PROBETA |  |
| CPG-3 | T | 4.902 | 4.978 | 24.402 | 1702.6 | 69.77 | 6.84 | 4.80% | SE REGISTRA LA RESISTENCIA DE ROTURA, PERO NO SE FRACTURO POR COMPLETO LA PROBETA |  |
| CPG-4 | T | 4.860 | 4.861 | 23.624 | 2516 | 106.50 | 10.44 | 5.70% | SE REGISTRA LA RESISTENCIA DE ROTURA, PERO NO SE FRACTURO POR COMPLETO LA PROBETA |  |
| CPG-5 | T | 4.860 | 4.902 | 23.824 | 2467.3 | 103.57 | 10.15 | 3.50% | FALLO COMPLETAMENTE |  |


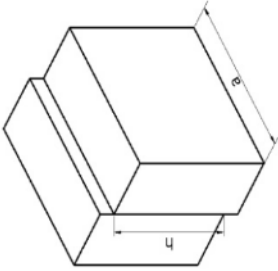
| Identificación de la probeta | Superficie de rotura | Ancho de la sección -a- (cm) | Altura de la sección -h- (cm) | Area de la sección (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia (kg/cm ²) | Resistencia (N/mm ²) | Contenido de humedad (%) | Observaciones | Diagramas |
|------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| CPG-6 | R | 4.900 | 4.887 | 23.946 | 2514.3 | 105.00 | 10.29 | 5.60% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-7 | T | 4.903 | 4.975 | 24.392 | 2227.3 | 91.31 | 8.95 | 5.20% | SE REGISTRA LA RESISTENCIA DE ROTURA, PERO NO SE FRACTURO POR COMPLETO LA PROBETA | |
| CPG-8 | T | 4.888 | 4.968 | 24.284 | 2352.4 | 96.87 | 9.49 | 3.20% | SE REGISTRA LA RESISTENCIA DE ROTURA, PERO NO SE FRACTURO POR COMPLETO LA PROBETA | |
| CPG-9 | T | 4.889 | 4.995 | 24.421 | 3094.9 | 126.73 | 12.42 | 4.70% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-10 | T | 4.882 | 4.970 | 24.264 | 2518.3 | 103.79 | 10.17 | 4.80% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-11 | T | 4.906 | 5.050 | 24.775 | 2213.4 | 89.34 | 8.76 | 4.10% | SE REGISTRA LA RESISTENCIA DE ROTURA, PERO NO SE FRACTURO POR COMPLETO LA PROBETA | |
| CPG-12 | T | 4.912 | 4.930 | 24.216 | 2861.5 | 118.16 | 11.58 | 3.50% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-13 | T | 4.926 | 4.852 | 23.901 | 1683.7 | 70.44 | 6.90 | 3.60% | FALLO COMPLETAMENTE | |

| Identificación de la probeta | Superficie de rotura | Ancho de la sección -a- (cm) | Altura de la sección -h- (cm) | Area de la sección (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia (kg/cm ²) | Resistencia (N/mm ²) | Contenido de humedad (%) | Observaciones | Diagramas |
|------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| CPG-14 | T | 4.902 | 4.864 | 23.843 | 2236 | 93.78 | 9.19 | 3.80% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-15 | R | 4.870 | 5.004 | 24.369 | 3028.1 | 124.26 | 12.18 | 4.80% | FALLO POR LA ZONA FRONTAL DE LA PROBETA | |
| CPG-16 | T | 4.874 | 4.958 | 24.165 | 2656.7 | 109.94 | 10.77 | 4.20% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-17 | T | 4.892 | 4.869 | 23.819 | 2716.3 | 114.04 | 11.18 | 3.80% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-18 | T | 4.857 | 4.924 | 23.916 | 2492.7 | 104.23 | 10.21 | 4.90% | SE REGISTRA LA RESISTENCIA DE ROTURA, PERO NO SE FRACTURO POR COMPLETO LA PROBETA | |
| CPG-19 | T | 4.905 | 4.800 | 23.544 | 3679.3 | 156.27 | 15.31 | 3.80% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-20 | T | 4.892 | 4.905 | 23.995 | 2752.3 | 114.70 | 11.24 | 3.80% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-21 | T | 4.885 | 5.019 | 24.518 | 2264.4 | 92.36 | 9.05 | 4.40% | SE REGISTRA LA RESISTENCIA DE ROTURA, PERO NO SE FRACTURO POR COMPLETO LA PROBETA | |

| Identificación de la probeta | Superficie de rotura | Ancho de la sección -a- (cm) | Altura de la sección -h- (cm) | Area de la sección (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia (kg/cm ²) | Resistencia (N/mm ²) | Contenido de humedad (%) | Observaciones | Diagramas |
|------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|-----------|
| CPG-22 | T | 4.880 | 5.005 | 24.424 | 3025.6 | 123.87 | 12.14 | 3.20% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-23 | T | 4.890 | 4.866 | 23.795 | 3407.5 | 143.20 | 14.03 | 4.60% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-24 | R | 4.895 | 4.843 | 23.706 | 2394.2 | 100.99 | 9.90 | 3.80% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-25 | T | 4.879 | 4.985 | 24.322 | 2947.1 | 121.17 | 11.87 | 4.10% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-26 | R | 4.903 | 4.935 | 24.196 | 2589.9 | 107.04 | 10.49 | 4.20% | FALLO POR LA ZONA FRONTAL DE LA PROBETA | |
| CPG-27 | T | 4.890 | 5.001 | 24.455 | 2925.1 | 119.61 | 11.72 | 5.30% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-28 | T | 4.890 | 4.968 | 24.294 | 1920.8 | 79.07 | 7.75 | 2.50% | FALLO COMPLETAMENTE | |
| CPG-29 | T | 4.871 | 4.923 | 23.980 | 2608 | 108.76 | 10.66 | 2.70% | FALLO COMPLETAMENTE | |

| Identificación de la probeta | Superficie de rotura | Ancho de la sección -a- (cm) | Altura de la sección -h- (cm) | Area de la sección (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia (kg/cm ²) | Resistencia (N/mm ²) | Contenido de humedad (%) | Observaciones | Diagramas |
|------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| CPG-31 | T | 4.892 | 4.859 | 23.770 | 2107.7 | 88.67 | 8.69 | 3.50% | FALLO COMPLETAMENTE |  |
| CPG-32 | T | 4.892 | 4.922 | 24.078 | 3231.5 | 134.21 | 13.15 | 3.20% | FALLO COMPLETAMENTE |  |
| CPG-33 | T | 4.839 | 4.888 | 23.653 | 2575.7 | 108.89 | 10.67 | 4.60% | FALLO COMPLETAMENTE |  |
| | | VALOR MINIMO | | | | 69.77 | 6.84 | 2.50% | | |
| | | VALOR MAXIMO | | | | 156.27 | 15.31 | 5.70% | | |
| | | PROMEDIO | | | | 107.97 | 10.58 | 4.19% | | |
| | | | | DESVIACIÓN ESTANDAR (CARGA MAXIMA) | | | | | | 450.39 |

B. Anexo: Informe de pruebas de corte en la línea de adhesivo

| | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | ENSAYO NTC 2279 17 de mayo de 2011 | ESQUEMA DE PROBETA  |
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | CORTE DE LINEA ADHESIVO NTC 2279 17 de mayo de 2011 | |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE TECA (TECTONA GRANDIS) | |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA 550 | |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD 7.52% | |
| | OBJETIVO ESPECÍFICO NUMERO 2 | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR 80% | |
| | EDIFICIO EL SINDU | | TEMPERATURA LUGAR 19°C | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO EL SINDU | | máquina DE ENSAYO COMPUTER SERVO CONTROL | |
| | ADHESIVO | | VELOCIDAD DE LA máquina 5 mm/min | |
| TIPO | MUF AKZONOBEL | CODIGO FABRICANTE AKZONOBEL | PRESIÓN PRENSADO 10.82 kg/cm2 | |
| ORIGEN | AKZONOBEL | FORMA | TIEMPO DE PRENSADO 36 HORAS | |

CONDICIONES DE APLICACIÓN DEL ADHESIVO
 La relación de resina vs catalizador fue 2.5:1, la hora de inicio de prensado fue 8 de la mañana del día 5 de mayo de 2011 hasta las 2 de la tarde del día 6 de mayo de 2011, el prensado se hizo en la máquina vesta tester de las instalaciones del edificio del Sindu de la Universidad Nacional de Colombia


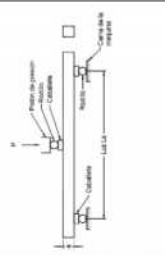
ACONDICIONAMIENTO USADO PARA LAS PROBETAS
 El secado de las piezas de madera se realizó en el horno ubicado en el edificio el sindu alcanzando un contenido de humedad antes del prensado de 5.2%, el cepillado de las piezas se realizó 30 minutos antes del encolado de las piezas

| Identificación de la probeta | Ancho de línea adhesivo -a- (cm) | Altura de línea adhesivo -h- (cm) | Area de línea adhesivo (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia (kg/cm ²) | Resistencia (N/mm ²) | Porcentaje madera fracturada (%) | Observaciones |
|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| CLA - 2 | 5.19 | 4.10 | 21.2€ | 1651 | 77.65 | 7.61 | 100% | CH 7.2%, |
| CLA - 3 | 5.10 | 4.09 | 20.8€ | 1406 | 67.41 | 6.61 | 100% | CH 8.4%, La máquina registra la falla, pero no se presenta fractura |
| CLA - 4 | 5.16 | 4.20 | 21.6€ | 1641 | 75.76 | 7.42 | 98% | CH 8.8% |
| CLA - 5 | 5.19 | 4.23 | 21.9€ | 1788 | 81.43 | 7.98 | 80% | CH 7.3% |
| CLA - 6 | 5.15 | 4.10 | 21.11 | 1898 | 89.92 | 8.81 | 82% | CH 6.7% |
| CLA - 7 | 5.14 | 3.99 | 20.52 | 1386 | 67.55 | 6.62 | 100% | CH 8.4% |
| CLA - 8 | 5.31 | 4.06 | 21.5€ | 1831 | 84.93 | 8.32 | 100% | CH 7.5% |
| CLA - 9 | 5.18 | 4.13 | 21.41 | 1424 | 66.52 | 6.52 | 100% | CH 6.8%, La máquina registra la falla, pero no se presenta fractura |

| Identificación de la probeta | Ancho de línea adhesivo -a- (cm) | Altura de línea adhesivo -h- (cm) | Área de línea adhesivo (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia (kg/cm ²) | Resistencia (N/mm ²) | Porcentaje madera fracturada (%) | Observaciones |
|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| CLA - 10 | 5.07 | 4.11 | 20.86 | 1476 | 70.77 | 6.94 | 100% | CH 8.2%, La máquina registra la falla, pero no se presenta fractura |
| CLA - 11 | 5.11 | 4.13 | 21.09 | 1416 | 67.14 | 6.58 | 80% | CH 10.8% |
| CLA - 13 | 5.18 | 4.01 | 20.77 | 1729 | 83.23 | 8.16 | 85% | CH 7.6% |
| CLA - 14 | 5.19 | 4.16 | 21.58 | 1838 | 85.17 | 8.35 | 95% | CH 7.8% |
| CLA - 16 | 5.30 | 3.97 | 21.02 | 1676 | 79.73 | 7.81 | 98% | CH 6.0% |
| CLA - 17 | 5.16 | 4.17 | 21.52 | 1693 | 78.68 | 7.71 | 100% | CH 7.5% |
| CLA - 18 | 5.10 | 4.06 | 20.69 | 1351 | 65.31 | 6.40 | 100% | CH 7.7%, La máquina registra la falla, pero no se presenta fractura |
| CLA - 19 | 5.23 | 4.00 | 20.89 | 1354 | 64.80 | 6.35 | 100% | CH 7.9% |
| CLA - 21 | 5.25 | 4.15 | 21.79 | 1542 | 70.77 | 6.94 | 100% | CH 6.5% |
| CLA - 22 | 5.30 | 4.23 | 22.42 | 1441 | 64.26 | 6.30 | 100% | CH 5.3%, La máquina registra la falla, pero no se presenta fractura |
| CLA - 23 | 5.27 | 4.07 | 21.46 | 1957 | 91.21 | 8.94 | 100% | CH 6.8% |
| CLA - 24 | 5.20 | 4.16 | 21.67 | 1482 | 68.40 | 6.70 | 100% | CH 5.2%, La máquina registra la falla, pero no se presenta fractura |
| CLA - 25 | 5.25 | 4.02 | 21.10 | 1786 | 84.64 | 8.30 | 95% | CH 6.2% |

| Identificación de la probeta | Ancho de línea adhesivo -a- (cm) | Altura de línea adhesivo -h- (cm) | Area de línea adhesivo (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia (kg/cm ²) | Resistencia (N/mm ²) | Porcentaje madera fracturada (%) | Observaciones |
|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| CLA - 26 | 5.26 | 4.19 | 22.01 | 1867 | 84.83 | 8.31 | 100% | CH 7.8%, La máquina registra la falla, pero no se presenta fractura |
| CLA - 27 | 5.19 | 4.08 | 21.18 | 1731 | 81.74 | 8.01 | 100% | CH 5.0% |
| CLA - 28 | 5.19 | 4.06 | 21.09 | 1487 | 70.51 | 6.91 | 100% | CH 8.4%, La máquina registra la falla, pero no se presenta fractura |
| CLA - 29 | 5.07 | 4.06 | 20.59 | 1368 | 66.45 | 6.51 | 100% | CH 11.0% |
| CLA - 30 | 5.14 | 4.08 | 20.96 | 1586 | 75.67 | 7.42 | 98% | CH 8.8% |
| VALOR MINIMO | | | | | 64.26 | 6.30 | 80% | |
| VALOR MAXIMO | | | | | 91.21 | 8.94 | 100% | |
| PROMEDIO | | | | | 75.56 | 7.40 | 97% | |
| DESVIACIÓN ESTANDAR (CARGA MAXIMA) | | | | | 191.20 | | | |

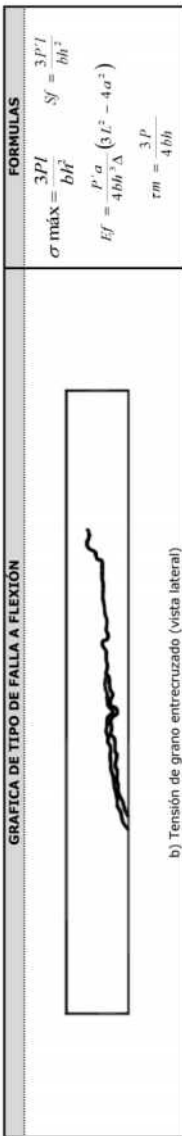
C. Anexo: Informe de pruebas de flexión de pequeñas probetas

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | ESQUEMA DE LA PRUEBA  |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCION | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXION | | |
| NOVENA COHORTE | | NORMA: NTC 663 | | | |
| | | FECHA: 10 de junio de 2011 | | | |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | | | |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | | | ESPECIE: TECA (TECTOMA GRANDIS) |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | | | DENSIDAD BASICA: 550 |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | | | CONTENIDO DE HUMEDAD: 12.20% | |
| | | | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR: 77% | |
| | | | | TEMPERATURA LUGAR: 15°C | |

| | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO DE SINDU | MAQUINA DE ENSAYO | COMPUTER SERVO CONTROL | NUMERO DE PROBETA |
| | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | 2.5 mm / min. | CLF - 01 |

| | | | |
|----------|-----------|---------------------|-------------|
| ADHESIVO | | PRESION DE PRENSADO | |
| TIPO | MUF | LIQUIDO | 10.2 kg/cm2 |
| ORIGEN | ANKONOBEL | TIEMPO DE PRENSADO | 24 HORAS |

| Numero de lectura | Carga (kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Carga limite proporcional -P- (Kgf) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al limite proporcional -σl- (Kgf/cm²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -τ- (Kgf/cm²) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 0.80 | 8 | 0.0002 | 3.74 | 3.52 | 69.00 | 391.10 | 371.97 | 870.19 | 827.62 | 107,491.67 | 22.23 |
| 2 | 14.22 | 139 | 0.0667 | | | | | | | | | |
| 3 | 29.99 | 294 | 0.1389 | | | | | | | | | |
| 4 | 45.90 | 450 | 0.2110 | | | | | | | | | |
| 5 | 61.57 | 603 | 0.2828 | | | | | | | | | |
| 6 | 77.72 | 762 | 0.3546 | | | | | | | | | |
| 7 | 94.09 | 922 | 0.4267 | | | | | | | | | |
| 8 | 110.65 | 1,084 | 0.4993 | | | | | | | | | |
| 9 | 127.36 | 1,248 | 0.5718 | | | | | | | | | |
| 10 | 144.15 | 1,413 | 0.6445 | | | | | | | | | |
| 11 | 160.95 | 1,577 | 0.7170 | | | | | | | | | |
| 12 | 177.89 | 1,743 | 0.7896 | | | | | | | | | |
| 13 | 195.01 | 1,911 | 0.8622 | | | | | | | | | |
| 14 | 211.95 | 2,077 | 0.9348 | | | | | | | | | |
| 15 | 228.93 | 2,244 | 1.0074 | | | | | | | | | |
| 16 | 245.82 | 2,409 | 1.0800 | | | | | | | | | |
| 17 | 262.43 | 2,572 | 1.1526 | | | | | | | | | |
| 18 | 278.72 | 2,731 | 1.2252 | | | | | | | | | |
| 19 | 294.71 | 2,888 | 1.2978 | | | | | | | | | |
| 20 | 309.97 | 3,038 | 1.3704 | | | | | | | | | |
| 21 | 324.28 | 3,178 | 1.4429 | | | | | | | | | |
| 22 | 337.91 | 3,311 | 1.5156 | | | | | | | | | |
| 23 | 350.54 | 3,435 | 1.5881 | | | | | | | | | |
| 24 | 362.00 | 3,548 | 1.6608 | | | | | | | | | |
| 25 | 371.97 | 3,645 | 1.7333 | | | | | | | | | |
| 26 | 356.76 | 3,496 | 1.8060 | | | | | | | | | |
| 27 | 363.40 | 3,561 | 1.8785 | | | | | | | | | |
| 28 | 369.44 | 3,620 | 1.9512 | | | | | | | | | |
| 29 | 373.98 | 3,665 | 2.0237 | | | | | | | | | |
| 30 | 378.14 | 3,706 | 2.0963 | | | | | | | | | |
| 31 | 382.30 | 3,747 | 2.1689 | | | | | | | | | |
| 32 | 386.99 | 3,792 | 2.2415 | | | | | | | | | |
| 33 | 391.10 | 3,833 | 2.3070 | | | | | | | | | |

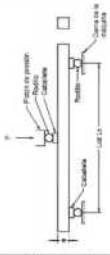



FORMULAS

$$\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bh^2} \quad \sigma_l = \frac{3P_l}{bh^2}$$

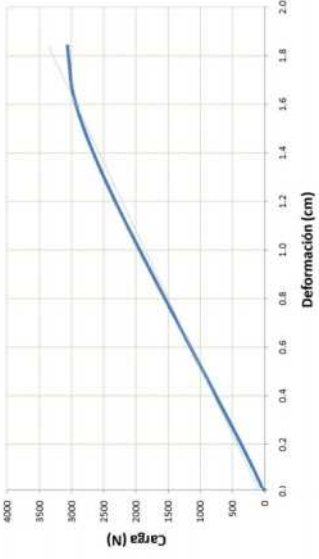
$$E_f = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} \quad (\Delta L^2 - 4a^2)$$


$$\tau_m = \frac{3P}{4bh}$$


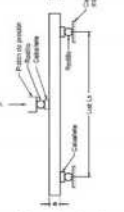
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | ENSAYO | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| TRABAJO DE GRADO | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | NTC 663 | 10 de junio de 2011 |  | | |
| AUTOR | | ARQ. JOSÉ SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | | |
| DIRECTOR | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | 550 | | | | |
| OBJETIVO ESPECÍFICO NUMERO 2 | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | 12-40% | | | | |
| | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | 77% | | | | |
| | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | 15°C | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBETA | | |
| | | | 2.5 mm / min. | | CLF - 02 | | |
| TIPO | | ADHESIVO | | | | | |
| ORIGEN | MIUF | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO | PRESIÓN DE PRENSADO | 10.2 kg/cm2 | | |
| | AKZONOBEL | FORMA | | TIEMPO DE PRENSADO | 24 HORAS | | |
| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al límite proporcional -σf- (Kgf/cm²) | Módulo Elástico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
| 1 | 0.80 | 8 | 0.0002 | 642.16 | 617.44 | 82,362.73 | 17.17 |
| 2 | 9.50 | 93 | 0.0522 | | | | |
| 3 | 20.03 | 196 | 0.1097 | | | | |
| 4 | 30.97 | 304 | 0.1673 | | | | |
| 5 | 42.20 | 414 | 0.2247 | | | | |
| 6 | 53.66 | 526 | 0.2820 | | | | |
| 7 | 65.09 | 638 | 0.3392 | | | | |
| 8 | 76.68 | 751 | 0.3965 | | | | |
| 9 | 88.29 | 865 | 0.4543 | | | | |
| 10 | 99.94 | 979 | 0.5123 | | | | |
| 11 | 111.59 | 1,094 | 0.5702 | | | | |
| 12 | 123.28 | 1,208 | 0.6281 | | | | |
| 13 | 134.98 | 1,323 | 0.6860 | | | | |
| 14 | 146.77 | 1,438 | 0.7439 | | | | |
| 15 | 158.47 | 1,553 | 0.8018 | | | | |
| 16 | 170.12 | 1,667 | 0.8597 | | | | |
| 17 | 181.86 | 1,782 | 0.9176 | | | | |
| 18 | 193.42 | 1,896 | 0.9755 | | | | |
| 19 | 204.93 | 2,008 | 1.0334 | | | | |
| 20 | 216.16 | 2,118 | 1.0913 | | | | |
| 21 | 227.25 | 2,227 | 1.1492 | | | | |
| 22 | 238.19 | 2,334 | 1.2072 | | | | |
| 23 | 248.73 | 2,438 | 1.2650 | | | | |
| 24 | 258.87 | 2,537 | 1.3230 | | | | |
| 25 | 268.51 | 2,631 | 1.3809 | | | | |
| 26 | 277.69 | 2,721 | 1.4387 | | | | |
| 27 | 286.30 | 2,806 | 1.4967 | | | | |
| 28 | 293.92 | 2,880 | 1.5546 | | | | |
| 29 | 300.52 | 2,945 | 1.6125 | | | | |
| 30 | 305.94 | 2,998 | 1.6704 | | | | |
| 31 | 308.43 | 3,023 | 1.7283 | | | | |
| 32 | 310.48 | 3,043 | 1.7862 | | | | |
| 33 | 312.55 | 3,063 | 1.8395 | | | | |

| GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN | | |
|------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  | | |
| b) Tensión de grano entrecruzado (vista lateral) | | |

| FORMULAS | |
|-----------------------------------------|-------------------------------|
| $\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bh^2}$ | $\Delta y = \frac{3Pl}{bh^2}$ |
| $Ef = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta}$ | $(3L^2 - 4a^2)$ |
| $tm = \frac{3P}{4bh}$ | |

| GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | |

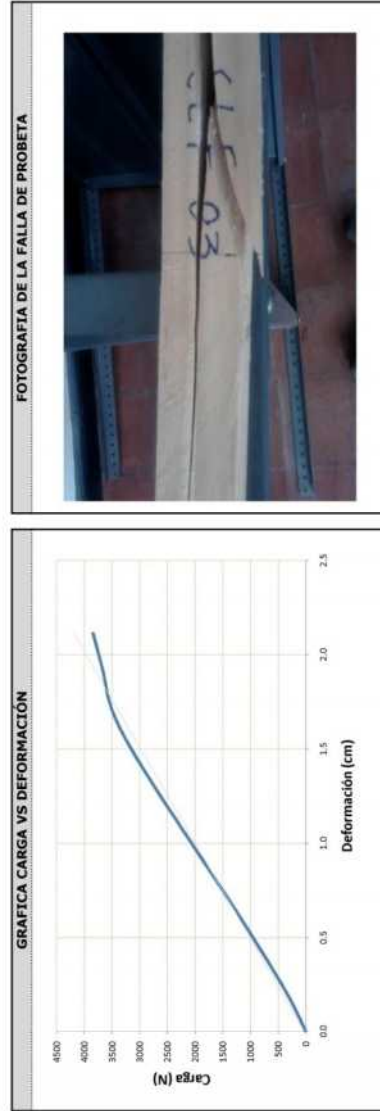
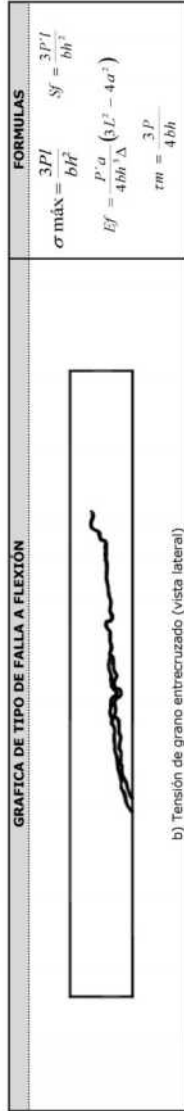
| FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | |

| | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|--|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | | |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | | NTC 663 | | 10 de junio de 2011 | | |
| NOVENA COHORTE | | FECHA: | | TECA (TECTONA GRANDIS) | |  | | | |
| ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | | 550 | | | | | |
| AUTOR | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | 14.00% | |
| DIRECTOR | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | | | | 77% | |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | TEMPERATURA LUGAR | | 15°C | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---------------------|--|-------------------|--|-------------------------|--|------------------------|--|-------------------|--|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBETA | |
| | | | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | 2.5 mm / min. | | CLF - 03 | |

| | | | | | | | |
|----------|--|---------|--|---------------------|--|-------------|--|
| ADHESIVO | | LIQUIDO | | PRESION DE PRENSADO | | 10.2 kg/cm2 | |
| | | | | TIEMPO DE PRENSADO | | 24 HORAS | |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (kgf) | Carga limite proporcional -P- (kgf) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al limite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0.70 | 7 | 0.0002 | 3.77 | 3.68 | 69.00 | 392.18 | 358.21 | 794.34 | 725.52 | 91,216.52 | 21.18 |
| 2 | 9.40 | 92 | 0.0605 | | | | | | | | | |
| 3 | 20.68 | 203 | 0.1264 | | | | | | | | | |
| 4 | 32.61 | 320 | 0.1923 | | | | | | | | | |
| 5 | 45.71 | 448 | 0.2579 | | | | | | | | | |
| 6 | 59.28 | 581 | 0.3235 | | | | | | | | | |
| 7 | 73.22 | 718 | 0.3890 | | | | | | | | | |
| 8 | 87.63 | 859 | 0.4552 | | | | | | | | | |
| 9 | 102.00 | 1,000 | 0.5215 | | | | | | | | | |
| 10 | 116.59 | 1,143 | 0.5878 | | | | | | | | | |
| 11 | 131.38 | 1,288 | 0.6540 | | | | | | | | | |
| 12 | 146.40 | 1,435 | 0.7204 | | | | | | | | | |
| 13 | 161.60 | 1,584 | 0.7867 | | | | | | | | | |
| 14 | 176.86 | 1,733 | 0.8530 | | | | | | | | | |
| 15 | 192.02 | 1,882 | 0.9193 | | | | | | | | | |
| 16 | 207.32 | 2,032 | 0.9856 | | | | | | | | | |
| 17 | 222.62 | 2,182 | 1.0519 | | | | | | | | | |
| 18 | 237.63 | 2,329 | 1.1182 | | | | | | | | | |
| 19 | 252.89 | 2,478 | 1.1845 | | | | | | | | | |
| 20 | 267.86 | 2,625 | 1.2508 | | | | | | | | | |
| 21 | 282.69 | 2,770 | 1.3171 | | | | | | | | | |
| 22 | 297.34 | 2,914 | 1.3834 | | | | | | | | | |
| 23 | 311.42 | 3,052 | 1.4497 | | | | | | | | | |
| 24 | 324.94 | 3,184 | 1.5160 | | | | | | | | | |
| 25 | 337.62 | 3,309 | 1.5823 | | | | | | | | | |
| 26 | 348.89 | 3,419 | 1.6486 | | | | | | | | | |
| 27 | 358.21 | 3,510 | 1.7149 | | | | | | | | | |
| 28 | 364.99 | 3,577 | 1.7812 | | | | | | | | | |
| 29 | 369.40 | 3,620 | 1.8475 | | | | | | | | | |
| 30 | 374.11 | 3,666 | 1.9137 | | | | | | | | | |
| 31 | 379.96 | 3,724 | 1.9801 | | | | | | | | | |
| 32 | 386.09 | 3,784 | 2.0464 | | | | | | | | | |
| 33 | 392.18 | 3,843 | 2.1118 | | | | | | | | | |

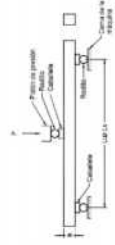


FORMULAS

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3Pl}{bf^2} \quad Sf = \frac{3P'l}{bh^2}$$

$$Ef = \frac{P'l^3}{4bh^3 \Delta} \quad \left(\frac{3L^2 - 4a^2}{\Delta} \right)$$


$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCION NOVENA COHORTE | | ENSAYO NORMA: FECHA: | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXION NTC 663 10 de junio de 2011 | ESQUEMA DE LA PRUEBA |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | ESPECIE DENSIDAD BASICA CONTENIDO DE HUMEDAD HUMEDAD RELATIVA LUGAR TEMPERATURA LUGAR | TECA (TECTONA GRANDIS) 550 15.70% 77% 15°C |  |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | | |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | | |
| | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO DE SINDU | MAQUINA DE ENSAYO VELOCIDAD DE LA MAQUINA | COMPUTER SERVO CONTROL 2.5 mm / min. | NUMERO DE PROBETA CLF - 04 |
| TIPO | MUF | ADHESIVO | | |
| ORIGEN | AKZONOBEL | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO | |
| | | | PRENSION DE PRENSADO TIEMPO DE PRENSADO | |
| | | | 10.2 kg/cm2 24 HORAS | |
| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | |
| 1 | 0.80 | 8 | 0.0002 | |
| 2 | 16.98 | 166 | 0.0976 | |
| 3 | 39.77 | 390 | 0.2006 | |
| 4 | 63.49 | 622 | 0.3031 | |
| 5 | 88.24 | 865 | 0.4056 | |
| 6 | 113.79 | 1.115 | 0.5093 | |
| 7 | 139.48 | 1.367 | 0.6129 | |
| 8 | 165.63 | 1.623 | 0.7166 | |
| 9 | 192.02 | 1.882 | 0.8203 | |
| 10 | 218.59 | 2.142 | 0.9239 | |
| 11 | 245.26 | 2.404 | 1.0276 | |
| 12 | 271.52 | 2.661 | 1.1312 | |
| 13 | 297.43 | 2.915 | 1.2348 | |
| 14 | 322.46 | 3.160 | 1.3385 | |
| 15 | 346.13 | 3.392 | 1.4421 | |
| 16 | 368.40 | 3.610 | 1.5458 | |
| 17 | 388.91 | 3.811 | 1.6494 | |
| 18 | 407.34 | 3.992 | 1.7531 | |
| 19 | 424.09 | 4.156 | 1.8567 | |
| 20 | 439.20 | 4.304 | 1.9604 | |
| 21 | 452.69 | 4.436 | 2.0640 | |
| 22 | 464.68 | 4.554 | 2.1677 | |
| 23 | 475.12 | 4.656 | 2.2713 | |
| 24 | 483.82 | 4.741 | 2.3749 | |
| 25 | 490.96 | 4.811 | 2.4786 | |
| 26 | 496.98 | 4.870 | 2.5822 | |
| 27 | 502.31 | 4.923 | 2.6859 | |
| 28 | 508.02 | 4.979 | 2.7895 | |
| 29 | 513.87 | 5.036 | 2.8931 | |
| 30 | 519.04 | 5.087 | 2.9968 | |
| 31 | 523.45 | 5.130 | 3.1005 | |
| 32 | 527.81 | 5.172 | 3.2036 | |
| 33 | 530.59 | 5.200 | 3.3032 | |

| ANCHO DE PROBETA -b- (cm) | ALTURA DE PROBETA -h- (cm) | LONGITUD DE PROBETA -L- (cm) | CARGA ROTURA -P- (Kgf) | CARGA LIMITE PROPORCIONAL -P- (Kgf) | ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL -SF- (Kgf/cm²) | ESFUERZO AL CORTE -tm- (Kgf/cm²) | MÓDULO ELÁSTICO APARENTE -Ef- (Kgf/cm²) |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|
| 3.92 | 3.74 | 69.00 | 530.59 | 475.12 | 896.49 | 27.15 | 83,698.23 |

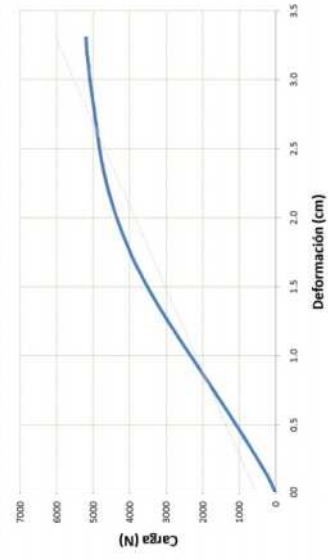
| RESISTENCIA MÁXIMA A LA FLEXIÓN -σ máx- (Kgf/cm²) | ESFUERZO AL CORTE -tm- (Kgf/cm²) |
|---------------------------------------------------|----------------------------------|
| 1001.16 | 27.15 |

GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXION




b) Tensión de grano entrecruzado (vista lateral)

GRAFICA CARGA VS DEFORMACION



FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA


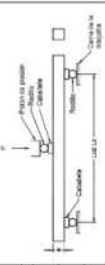


FORMULAS

$$\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$E_f = \frac{P \cdot \Delta}{4bh \cdot \Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

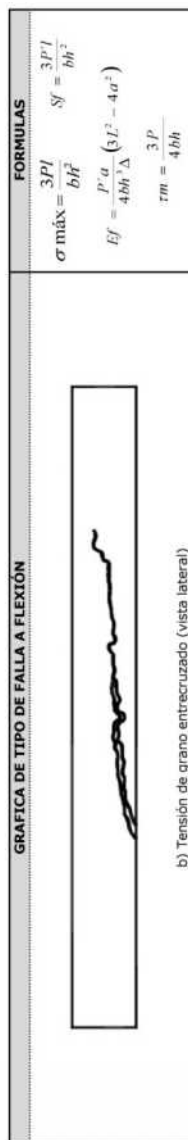
$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

| | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | ESQUEMA DE LA PRUEBA |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | NTC 663 |
| | NOVENA COHORTE | | FECHA: | 10 de junio de 2011 |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | |  |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | | |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | | |
| | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | | |

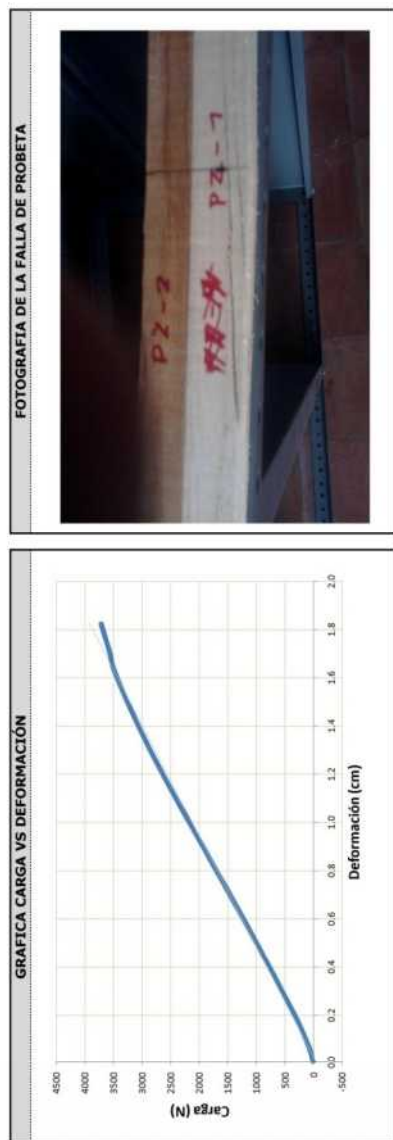
| | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO DE SINDU | MAQUINA DE ENSAYO | COMPUTER SERVO CONTROL | NUMERO DE PROBETA |
| | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | 2.5 mm / min. | CLF - 05 |

| | | | | | |
|-------------|-----------|-------------------|---------|----------------------|-------------------------|
| TIPO ORIGIN | MUF | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO | PRENSION DE PRENSADO | TIEMPO DE PRENSADO |
| | AKZONOBEL | FORMA | | | 10.2 kg/cm2 24 HORAS |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.70 | 7 | 0.0002 |
| 2 | 6.22 | 61 | 0.0513 |
| 3 | 15.68 | 154 | 0.1081 |
| 4 | 26.44 | 259 | 0.1648 |
| 5 | 38.65 | 379 | 0.2215 |
| 6 | 51.42 | 504 | 0.2778 |
| 7 | 64.24 | 630 | 0.3343 |
| 8 | 77.06 | 755 | 0.3907 |
| 9 | 90.20 | 884 | 0.4476 |
| 10 | 103.26 | 1012 | 0.5047 |
| 11 | 116.74 | 1144 | 0.5618 |
| 12 | 130.12 | 1275 | 0.6188 |
| 13 | 143.73 | 1409 | 0.6759 |
| 14 | 157.40 | 1542 | 0.7330 |
| 15 | 171.34 | 1679 | 0.7901 |
| 16 | 185.19 | 1815 | 0.8471 |
| 17 | 198.61 | 1946 | 0.9042 |
| 18 | 212.60 | 2084 | 0.9613 |
| 19 | 226.27 | 2217 | 1.0184 |
| 20 | 239.97 | 2352 | 1.0753 |
| 21 | 253.50 | 2484 | 1.1325 |
| 22 | 266.88 | 2615 | 1.1895 |
| 23 | 279.93 | 2743 | 1.2466 |
| 24 | 292.56 | 2867 | 1.3037 |
| 25 | 304.54 | 2985 | 1.3607 |
| 26 | 316.38 | 3101 | 1.4178 |
| 27 | 327.66 | 3211 | 1.4748 |
| 28 | 338.46 | 3317 | 1.5319 |
| 29 | 348.72 | 3417 | 1.5890 |
| 30 | 358.26 | 3511 | 1.6461 |
| 31 | 363.63 | 3564 | 1.7031 |
| 32 | 370.99 | 3636 | 1.7602 |
| 33 | 379.12 | 3715 | 1.8227 |



| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bh^2}$ $E_f = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta}$ $r_m = \frac{3P}{4bh}$ | FORMULAS Esfuerzo al corte $S_f = \frac{3Pl}{bh^2}$ Esfuerzo al corte aparente $E_f = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta}$ $r_m = \frac{3P}{4bh}$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|




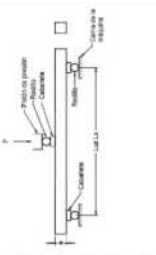
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | | | | | |
|----------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | | MTC 663 | | | | | | | |
| NOVENA COHORTE | | NOVENA COHORTE | | FECHA: | | 10 de Junio de 2011 | | | | | | | |
| TRABAJO DE GRADO | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | | | | | |
| AUTOR | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA | | 550 | | | | | | | |
| DIRECTOR | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | 12.50% | | | | | | | |
| | | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | | 77% | | | | | | | |
| | | | | TEMPERATURA LUGAR | | 15°C | | | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBEA | | | | | |
| | | | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | 2.5 mm / min. | | CLF - 06 | | | | | |
| TIPO | | ADHESIVO | | | | | | | | | | | |
| ORIGEN | | MUF | | LIQUIDO | | PRESIÓN DE PRENSADO | | 10.2 kg/cm2 | | | | | |
| | | AKZONOBEL | | FORMA | | TIEMPO DE PRENSADO | | 24 HORAS | | | | | |
| Numero de lectura | | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -h- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -p- (Kgf) | Carga limite proporcional -p- (Kgf) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al limite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | Módulo Elástico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
| 1 | 0.70 | 7 | 0.0002 | | 3.35 | 3.61 | 69.00 | 425.68 | 399.99 | 1013.02 | 951.87 | 91,888.67 | 26.47 |
| 2 | 14.32 | 140 | 0.0788 | | | | | | | | | | |
| 3 | 30.88 | 303 | 0.1631 | | | | | | | | | | |
| 4 | 47.77 | 468 | 0.2471 | | | | | | | | | | |
| 5 | 64.75 | 635 | 0.3310 | | | | | | | | | | |
| 6 | 81.83 | 802 | 0.4149 | | | | | | | | | | |
| 7 | 99.47 | 975 | 0.4997 | | | | | | | | | | |
| 8 | 117.21 | 1,149 | 0.5844 | | | | | | | | | | |
| 9 | 135.13 | 1,324 | 0.6692 | | | | | | | | | | |
| 10 | 153.13 | 1,501 | 0.7540 | | | | | | | | | | |
| 11 | 171.29 | 1,679 | 0.8387 | | | | | | | | | | |
| 12 | 189.31 | 1,855 | 0.9235 | | | | | | | | | | |
| 13 | 207.36 | 2,032 | 1.0083 | | | | | | | | | | |
| 14 | 225.19 | 2,207 | 1.0930 | | | | | | | | | | |
| 15 | 242.54 | 2,377 | 1.1778 | | | | | | | | | | |
| 16 | 259.67 | 2,545 | 1.2626 | | | | | | | | | | |
| 17 | 275.77 | 2,703 | 1.3473 | | | | | | | | | | |
| 18 | 291.07 | 2,852 | 1.4321 | | | | | | | | | | |
| 19 | 305.71 | 2,996 | 1.5168 | | | | | | | | | | |
| 20 | 319.51 | 3,131 | 1.6016 | | | | | | | | | | |
| 21 | 332.62 | 3,260 | 1.6864 | | | | | | | | | | |
| 22 | 344.64 | 3,377 | 1.7711 | | | | | | | | | | |
| 23 | 355.83 | 3,487 | 1.8559 | | | | | | | | | | |
| 24 | 365.47 | 3,582 | 1.9406 | | | | | | | | | | |
| 25 | 375.05 | 3,676 | 2.0254 | | | | | | | | | | |
| 26 | 383.98 | 3,763 | 2.1102 | | | | | | | | | | |
| 27 | 392.41 | 3,846 | 2.1949 | | | | | | | | | | |
| 28 | 399.99 | 3,920 | 2.2797 | | | | | | | | | | |
| 29 | 404.16 | 3,961 | 2.3644 | | | | | | | | | | |
| 30 | 410.80 | 4,026 | 2.4492 | | | | | | | | | | |
| 31 | 417.06 | 4,087 | 2.5340 | | | | | | | | | | |
| 32 | 421.66 | 4,132 | 2.6187 | | | | | | | | | | |
| 33 | 425.68 | 4,172 | 2.7002 | | | | | | | | | | |

| GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN | |
|----------------------------------------------------------------|--|
| | |
| c) Tensión de artilamiento (vista de la superficie de tensión) | |

| GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN | |
|------------------------------|--|
| | |

| FORMULAS | |
|-----------------------------------------|-------------------------|
| $\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bh^2}$ | $Sf = \frac{3Pl}{bh^2}$ |
| $Ef = \frac{P \cdot d}{4bh^3 \Delta}$ | $tm = \frac{3P}{4bh}$ |

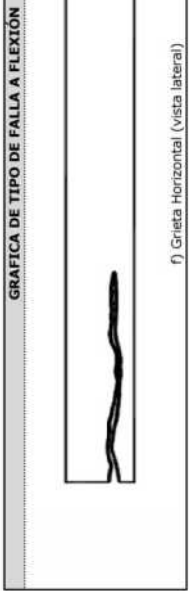
| FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBEA | |
|----------------------------------|--|
| | |

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | | |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: NTC 663 | | FECHA: 10 de junio de 2011 | |  | | |
| NOVENA COHORTE | | ESPECIE TECA (TECTONA GRANDIS) | | 550 | | | | | |
| TRABAJO DE GRADO | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | 16.00% | | | | | |
| AUTOR | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | 77% | | | | | |
| DIRECTOR | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | 15°C | | | | | |
| | | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBETA | |
| | | | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | 2.5 mm / min. | | CLF - 07 | |

| | | | | | |
|----------|--|---------------------|--|-------------|--|
| ADHESIVO | | PRESIÓN DE PRENSADO | | 10.2 kg/cm2 | |
| LIQUIDO | | TIEMPO DE PRENSADO | | 24 HORAS | |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.84 | 8 | 0.0002 |
| 2 | 12.35 | 121 | 0.0626 |
| 3 | 25.36 | 248 | 0.1306 |
| 4 | 38.79 | 380 | 0.1986 |
| 5 | 52.54 | 515 | 0.2662 |
| 6 | 66.34 | 650 | 0.3338 |
| 7 | 80.52 | 789 | 0.4015 |
| 8 | 95.17 | 933 | 0.4699 |
| 9 | 110.18 | 1,080 | 0.5383 |
| 10 | 125.30 | 1,228 | 0.6067 |
| 11 | 140.88 | 1,381 | 0.6751 |
| 12 | 156.60 | 1,535 | 0.7435 |
| 13 | 172.27 | 1,688 | 0.8119 |
| 14 | 188.23 | 1,845 | 0.8803 |
| 15 | 204.13 | 2,001 | 0.9487 |
| 16 | 219.91 | 2,155 | 1.0172 |
| 17 | 235.53 | 2,308 | 1.0855 |
| 18 | 250.88 | 2,459 | 1.1539 |
| 19 | 265.71 | 2,604 | 1.2223 |
| 20 | 280.22 | 2,746 | 1.2907 |
| 21 | 293.96 | 2,881 | 1.3590 |
| 22 | 307.11 | 3,010 | 1.4275 |
| 23 | 319.57 | 3,132 | 1.4958 |
| 24 | 331.26 | 3,246 | 1.5642 |
| 25 | 342.11 | 3,353 | 1.6327 |
| 26 | 352.32 | 3,453 | 1.7011 |
| 27 | 361.86 | 3,546 | 1.7694 |
| 28 | 370.28 | 3,629 | 1.8378 |
| 29 | 378.37 | 3,708 | 1.9062 |
| 30 | 385.48 | 3,778 | 1.9746 |
| 31 | 391.94 | 3,841 | 2.0430 |
| 32 | 397.65 | 3,897 | 2.1114 |
| 33 | 402.84 | 3,948 | 2.1798 |

| | | | | | |
|---------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------|-----------|----------------------------------|-------|
| Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | 875.17 | Módulo Elastico aparente Ef- (Kgf/cm²) | 91,224.80 | Esfuerzo al corte -τm- (Kgf/cm²) | 23.79 |
| Carga limite proporcional -Pp- (Kgf) | 378.37 | Esfuerzo al limite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | 822.01 | | |
| Carga rotura -P- (Kgf) | 402.84 | | | | |
| Longitud de probeta -L- (cm) | 69.00 | | | | |
| Altura probeta -h- (cm) | 3.75 | | | | |
| Ancho de probeta -b- (cm) | 3.39 | | | | |

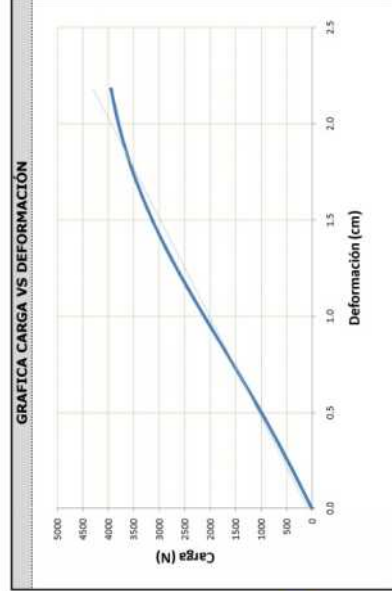



FORMULAS

$$\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bf^2} \quad Sf = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$Ef = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

$$\tau m = \frac{3P}{4bh}$$




| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | ESQUEMA DE LA PRUEBA |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: NTC 663 | | |
| | NOVENA COHORTE | | FECHA: 10 de junio de 2011 | | |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE: TECA (TECTONA GRANDIS) | | |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA: 550 | | |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANCA PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD: 16.80% | | |
| | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR: 77% | | |
| | EDIFICIO DE SINDU | | TEMPERATURA LUGAR: 15°C | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | ADHESIVO | | MAQUINA DE ENSAYO | COMPUTER SERVO CONTROL | NUMERO DE PROBETA |
| | LIQUIDO | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | 2.5 mm / min. | |

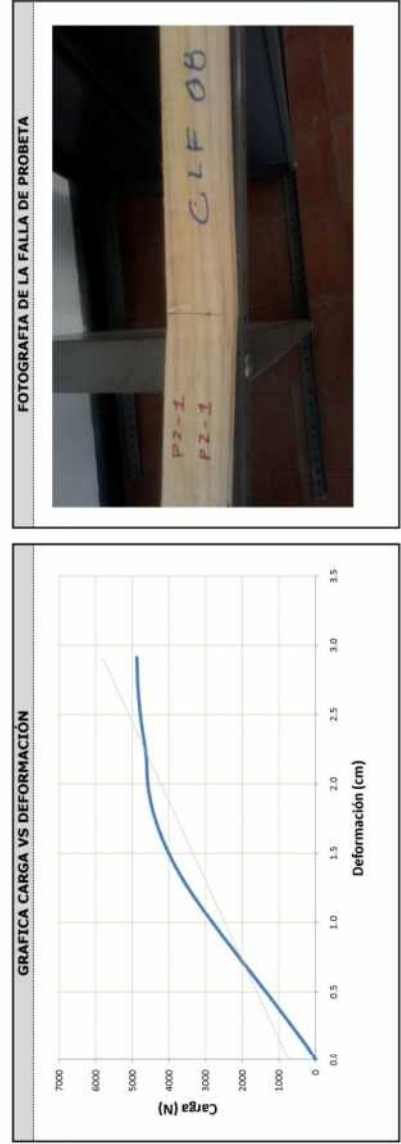
| | | | | | |
|--------|-----------|-------------------|---------|----------------------|-------------|
| TIPO | MUF | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO | PRENSION DE PRENSADO | 10.2 kg/cm2 |
| ORIGEN | AKZONOBEL | FORMA | | TIEMPO DE PRENSADO | 24 HORAS |

| Numero de lectura | Carga (kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.89 | 9 | 0.0002 |
| 2 | 19.04 | 187 | 0.0851 |
| 3 | 44.40 | 435 | 0.1756 |
| 4 | 70.56 | 691 | 0.2658 |
| 5 | 96.48 | 945 | 0.3558 |
| 6 | 123.05 | 1,206 | 0.4464 |
| 7 | 150.19 | 1,472 | 0.5374 |
| 8 | 177.51 | 1,740 | 0.6285 |
| 9 | 204.93 | 2,008 | 0.7196 |
| 10 | 232.02 | 2,274 | 0.8106 |
| 11 | 258.93 | 2,537 | 0.9017 |
| 12 | 285.22 | 2,795 | 0.9928 |
| 13 | 311.19 | 3,050 | 1.0838 |
| 14 | 335.99 | 3,293 | 1.1748 |
| 15 | 359.33 | 3,521 | 1.2659 |
| 16 | 380.44 | 3,728 | 1.3570 |
| 17 | 399.57 | 3,916 | 1.4481 |
| 18 | 416.32 | 4,080 | 1.5391 |
| 19 | 431.15 | 4,225 | 1.6301 |
| 20 | 443.69 | 4,348 | 1.7211 |
| 21 | 454.18 | 4,451 | 1.8122 |
| 22 | 461.83 | 4,526 | 1.9033 |
| 23 | 467.30 | 4,580 | 1.9944 |
| 24 | 469.75 | 4,604 | 2.0854 |
| 25 | 471.07 | 4,617 | 2.1764 |
| 26 | 475.12 | 4,656 | 2.2675 |
| 27 | 480.69 | 4,711 | 2.3586 |
| 28 | 486.03 | 4,763 | 2.4497 |
| 29 | 490.11 | 4,803 | 2.5407 |
| 30 | 493.10 | 4,832 | 2.6317 |
| 31 | 495.31 | 4,854 | 2.7228 |
| 32 | 496.84 | 4,869 | 2.8138 |
| 33 | 498.10 | 4,881 | 2.9103 |

GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN



c) Tensión de artilamiento (vista de la superficie de tensión)



FORMULAS

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$E_f = \frac{P'a}{4bh^3\Delta} (3l^2 - 4a^2)$$

$$r_m = \frac{3P}{4bh}$$

CLF - 08

NUMERO DE PROBETA

COMPUTER SERVO CONTROL

MAQUINA DE ENSAYO

EDIFICIO DE SINDU

LUGAR DE LA PRUEBA:

ADHESIVO

LIQUIDO

MUF

ORIGEN

TIPO

VELOCIDAD DE LA MAQUINA

RESISTENCIA MÁXIMA A LA FLEXIÓN -σ máx- (Kgf/cm²)

975.58

MÓDULO ELÁSTICO APARENTE -Ef- (Kgf/cm²)

99,405.36

ESFUERZO AL LÍMITE PROPORCIONAL -Sf- (Kgf/cm²)

915.26

ESFUERZO AL CORTE -τm- (Kgf/cm²)

25.90

CARGA LÍMITE PROPORCIONAL -Pp- (Kgf)

467.30

CARGA ROTURA -P- (Kgf)

498.10

LONGITUD DE PROBETA -L- (cm)

69.00

ANCHO DE PROBETA -b- (cm)

3.94

ALTURA DE PROBETA -h- (cm)

3.66

CARGA ROTURA -P- (Kgf)

498.10

ESFUERZO AL CORTE -τm- (Kgf/cm²)

25.90

MÓDULO ELÁSTICO APARENTE -Ef- (Kgf/cm²)

99,405.36

RESISTENCIA MÁXIMA A LA FLEXIÓN -σ máx- (Kgf/cm²)


975.58

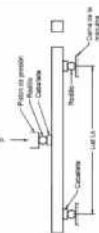
ESFUERZO AL LÍMITE PROPORCIONAL -Sf- (Kgf/cm²)

915.26

ESFUERZO AL CORTE -τm- (Kgf/cm²)

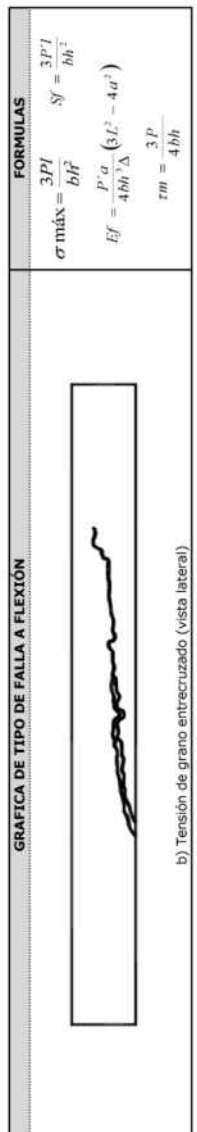
25.90

| | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------|------------------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | |
| | NOVENA COHORTE | | FECHA: | | NTC 663 | |
| TRABAJO DE GRADO | | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | | TECA (TECTONA GRANDIS) |
| AUTOR | | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | | 550 |
| DIRECTOR | | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | | 77% |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | | ADHESIVO | | | 15°C |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | | EDIFICIO DE SINDU | | | COMPUTER SERVO CONTROL |
| TIPO | | | LIQUIDO | | | 2.5 mm / min. |
| ORIGEN | | | MUF | | | 10.2 kg/cm2 |
| AKZONOBEL | | | CODIGO FABRICANTE | | | 24 HORAS |
| FORMA | | | TIEMPO DE PRENSADO | | | 23.99 |



| | | | | | | | |
|----------|--|-------------------------|--|-------------------------|--|-------------------|--|
| ADHESIVO | | MAQUINA DE ENSAYO | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | NUMERO DE PROBETA | |
| LIQUIDO | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | 2.5 mm / min. | | CLF - 09 | |
| TIPO | | LIQUIDO | | PRESIÓN DE PRENSADO | | 10.2 kg/cm2 | |
| ORIGEN | | TIEMPO DE PRENSADO | | 24 HORAS | | 23.99 | |

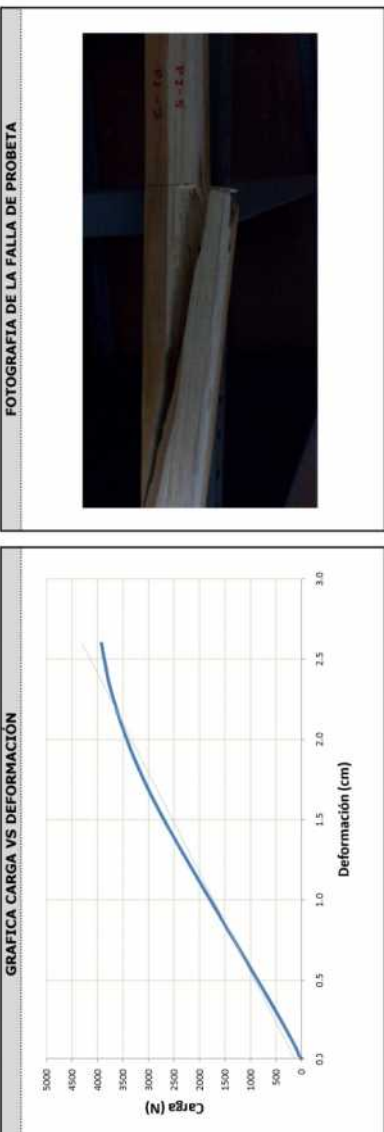
| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.70 | 7 | 0.0002 |
| 2 | 10.86 | 106 | 0.0755 |
| 3 | 24.43 | 239 | 0.1564 |
| 4 | 38.79 | 380 | 0.2372 |
| 5 | 53.53 | 525 | 0.3177 |
| 6 | 68.50 | 671 | 0.3981 |
| 7 | 83.80 | 821 | 0.4795 |
| 8 | 99.29 | 973 | 0.5610 |
| 9 | 114.68 | 1124 | 0.6423 |
| 10 | 130.12 | 1275 | 0.7238 |
| 11 | 145.74 | 1428 | 0.8052 |
| 12 | 161.05 | 1578 | 0.8866 |
| 13 | 176.58 | 1730 | 0.9680 |
| 14 | 192.02 | 1882 | 1.0494 |
| 15 | 207.46 | 2033 | 1.1308 |
| 16 | 222.76 | 2183 | 1.2121 |
| 17 | 237.92 | 2332 | 1.2936 |
| 18 | 252.98 | 2479 | 1.3750 |
| 19 | 267.86 | 2625 | 1.4564 |
| 20 | 282.04 | 2764 | 1.5378 |
| 21 | 295.74 | 2898 | 1.6192 |
| 22 | 308.61 | 3024 | 1.7006 |
| 23 | 321.01 | 3146 | 1.7821 |
| 24 | 332.39 | 3257 | 1.8634 |
| 25 | 343.14 | 3363 | 1.9448 |
| 26 | 353.07 | 3460 | 2.0262 |
| 27 | 362.23 | 3550 | 2.1076 |
| 28 | 370.74 | 3633 | 2.1890 |
| 29 | 378.52 | 3709 | 2.2704 |
| 30 | 385.53 | 3778 | 2.3518 |
| 31 | 391.10 | 3833 | 2.4332 |
| 32 | 396.21 | 3883 | 2.5147 |
| 33 | 400.69 | 3927 | 2.5970 |



FORMULAS

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$Ef = \frac{P'a}{4bh^3\Delta} (3l^2 - 4a^2)$$

$$rm = \frac{3P}{4bh}$$


ADHESIVO

MUF

AKZONOBEL

CODIGO FABRICANTE

LIQUIDO

TIEMPO DE PRENSADO

24 HORAS

PRESIÓN DE PRENSADO

10.2 kg/cm2

VELOCIDAD DE LA MAQUINA

2.5 mm / min.

NUMERO DE PROBETA

CLF - 09



| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | | NTC 663 | | | | | | | | |
| NOVENA COHORTE | | FECHA: | | 10 de Junio de 2011 | | | | | | | | |
| ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | | | | | | |
| AUTOR | | DENSIDAD BÁSICA | | 550 | | | | | | | | |
| DIRECTOR | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | 14.50% | | | | | | | | |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | | 77% | | | | | | | | |
| | | TEMPERATURA LUGAR | | 15°C | | | | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBETA | | | | | | |
| | | ADHESIVO | | 2.5 mm / min. | | CLF - 10 | | | | | | |
| TIPO | | CODIGO FABRICANTE | | PRESION DE PRENSADO | | | | | | | | |
| ORIGEN | | FORMA | | TIEMPO DE PRENSADO | | | | | | | | |
| | | LIQUIDO | | 10.2 kg/cm2 | | | | | | | | |
| | | | | 24 HORAS | | | | | | | | |
| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Carga limite proporcional -P- (Kgf) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kaf/cm²) | Esfuerzo al límite proporcional -Sf- (Kaf/cm²) | Módulo Elástico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
| 1 | 0.75 | 7 | 0.0002 | 3.51 | 3.58 | 69.00 | 341.27 | 323.26 | 787.74 | 746.19 | 100,496.53 | 20.41 |
| 2 | 9.40 | 92 | 0.0534 | | | | | | | | | |
| 3 | 19.70 | 193 | 0.1122 | | | | | | | | | |
| 4 | 30.18 | 296 | 0.1710 | | | | | | | | | |
| 5 | 41.18 | 404 | 0.2297 | | | | | | | | | |
| 6 | 52.96 | 519 | 0.2882 | | | | | | | | | |
| 7 | 65.13 | 638 | 0.3467 | | | | | | | | | |
| 8 | 77.72 | 762 | 0.4053 | | | | | | | | | |
| 9 | 90.67 | 889 | 0.4644 | | | | | | | | | |
| 10 | 103.92 | 1,018 | 0.5236 | | | | | | | | | |
| 11 | 117.21 | 1,149 | 0.5828 | | | | | | | | | |
| 12 | 130.82 | 1,282 | 0.6419 | | | | | | | | | |
| 13 | 144.53 | 1,416 | 0.7011 | | | | | | | | | |
| 14 | 158.29 | 1,551 | 0.7603 | | | | | | | | | |
| 15 | 171.90 | 1,685 | 0.8194 | | | | | | | | | |
| 16 | 185.37 | 1,817 | 0.8786 | | | | | | | | | |
| 17 | 198.66 | 1,947 | 0.9378 | | | | | | | | | |
| 18 | 211.76 | 2,075 | 0.9969 | | | | | | | | | |
| 19 | 224.30 | 2,198 | 1.0561 | | | | | | | | | |
| 20 | 236.56 | 2,318 | 1.1152 | | | | | | | | | |
| 21 | 248.31 | 2,433 | 1.1744 | | | | | | | | | |
| 22 | 259.63 | 2,544 | 1.2336 | | | | | | | | | |
| 23 | 270.43 | 2,650 | 1.2928 | | | | | | | | | |
| 24 | 280.68 | 2,751 | 1.3519 | | | | | | | | | |
| 25 | 290.36 | 2,846 | 1.4111 | | | | | | | | | |
| 26 | 299.54 | 2,935 | 1.4702 | | | | | | | | | |
| 27 | 308.05 | 3,019 | 1.5294 | | | | | | | | | |
| 28 | 316.00 | 3,097 | 1.5886 | | | | | | | | | |
| 29 | 323.26 | 3,168 | 1.6477 | | | | | | | | | |
| 30 | 329.53 | 3,229 | 1.7069 | | | | | | | | | |
| 31 | 334.82 | 3,281 | 1.7661 | | | | | | | | | |
| 32 | 338.93 | 3,321 | 1.8252 | | | | | | | | | |
| 33 | 341.27 | 3,344 | 1.8886 | | | | | | | | | |

| GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN | |
|------------------------------------|--|
| | |
| e) Compresión (vista lateral) | |

| GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN | |
|------------------------------|--|
| | |

| FORMULAS | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| $\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bh^2}$ $E_f = \frac{P^2 \Delta}{4bh^3 \Delta}$ $tm = \frac{3P}{4bh}$ | $Sf = \frac{3P^2}{bh^3}$ $E_f = \frac{P^2 \Delta}{4bh^3 \Delta}$ $tm = \frac{3P}{4bh}$ |

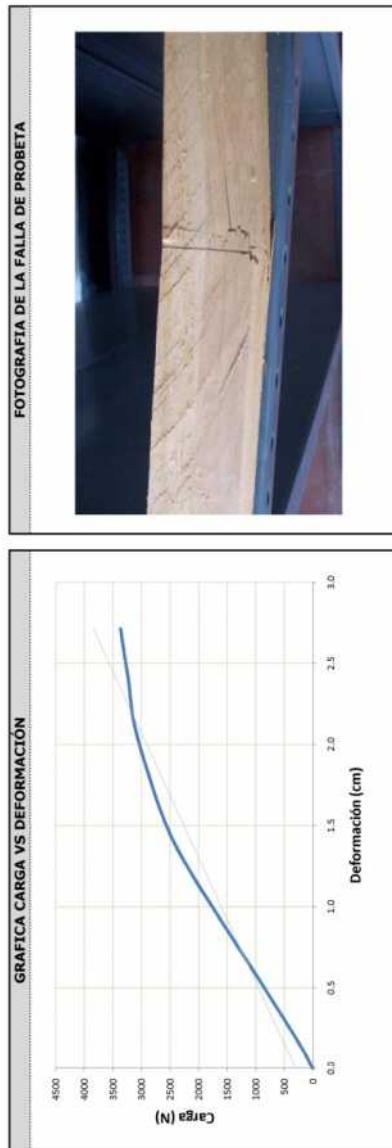
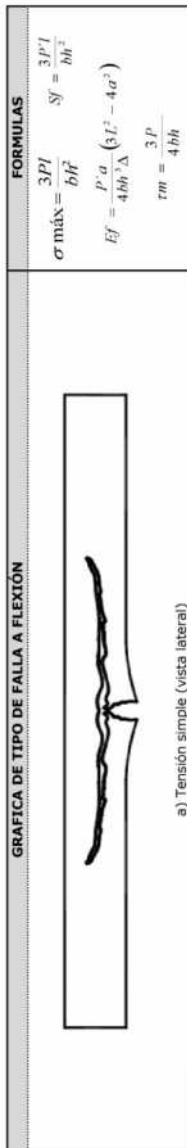
| FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA | |
|-----------------------------------|--|
| | |

| | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | ENSAYO NORMA: NTC 663 FECHA: 10 de junio de 2011 | | ESQUEMA DE LA PRUEBA  | |
| | TRABAJO DE GRADO AUTOR DIRECTOR | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL (TECA (TECTONA GRANDIS)) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL ARQ. JOSÉ SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA OBJETIVO ESPECÍFICO NUMERO 2 | | TECA (TECTONA GRANDIS) DENSIDAD BÁSICA CONTENIDO DE HUMEDAD HUMEDAD RELATIVA LUGAR TEMPERATURA LUGAR | |

| | | | | | | | |
|---------------------|--|-------------------|--|-------------------------|--|-------------------|--|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBETA | |
| TIPO | | ADHESIVO | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | CLF - 11 | |

| | | | | | | | |
|--------|--|-------------------|--|---------------------|--|-------------------------------------|--|
| ORIGEN | | CODIGO FABRICANTE | | PRESIÓN DE PRENSADO | | TIEMPO DE PRENSADO | |
| MUF | | FORMA | | LIQUIDO | | 10.2 kg/cm ² 24 HORAS | |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Carga limite proporcional -P- (Kgf) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm ²) | Esfuerzo al limite proporcional -Sf- (Kgf/cm ²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm ²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm ²) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1 | 0.70 | 7 | 0.0002 | 3.37 | 3.65 | 69.00 | 343.33 | 318.82 | 791.06 | 734.57 | 75,277.67 | 20.93 |
| 2 | 11.88 | 116 | 0.0793 | | | | | | | | | |
| 3 | 26.10 | 256 | 0.1640 | | | | | | | | | |
| 4 | 41.03 | 402 | 0.2484 | | | | | | | | | |
| 5 | 56.34 | 552 | 0.3326 | | | | | | | | | |
| 6 | 71.82 | 704 | 0.4170 | | | | | | | | | |
| 7 | 87.40 | 857 | 0.5022 | | | | | | | | | |
| 8 | 103.17 | 1,011 | 0.5874 | | | | | | | | | |
| 9 | 119.12 | 1,167 | 0.6726 | | | | | | | | | |
| 10 | 135.03 | 1,323 | 0.7578 | | | | | | | | | |
| 11 | 150.80 | 1,478 | 0.8429 | | | | | | | | | |
| 12 | 166.75 | 1,634 | 0.9281 | | | | | | | | | |
| 13 | 182.57 | 1,789 | 1.0133 | | | | | | | | | |
| 14 | 198.19 | 1,942 | 1.0985 | | | | | | | | | |
| 15 | 213.54 | 2,093 | 1.1837 | | | | | | | | | |
| 16 | 228.14 | 2,236 | 1.2688 | | | | | | | | | |
| 17 | 241.85 | 2,370 | 1.3540 | | | | | | | | | |
| 18 | 254.10 | 2,490 | 1.4392 | | | | | | | | | |
| 19 | 264.64 | 2,593 | 1.5243 | | | | | | | | | |
| 20 | 274.13 | 2,686 | 1.6096 | | | | | | | | | |
| 21 | 282.60 | 2,769 | 1.6947 | | | | | | | | | |
| 22 | 290.46 | 2,846 | 1.7799 | | | | | | | | | |
| 23 | 298.27 | 2,923 | 1.8651 | | | | | | | | | |
| 24 | 305.85 | 2,997 | 1.9503 | | | | | | | | | |
| 25 | 312.73 | 3,065 | 2.0355 | | | | | | | | | |
| 26 | 318.82 | 3,124 | 2.1206 | | | | | | | | | |
| 27 | 323.40 | 3,169 | 2.2058 | | | | | | | | | |
| 28 | 325.97 | 3,194 | 2.2910 | | | | | | | | | |
| 29 | 328.73 | 3,222 | 2.3762 | | | | | | | | | |
| 30 | 332.33 | 3,257 | 2.4614 | | | | | | | | | |
| 31 | 336.32 | 3,296 | 2.5466 | | | | | | | | | |
| 32 | 340.10 | 3,333 | 2.6317 | | | | | | | | | |
| 33 | 343.33 | 3,365 | 2.7115 | | | | | | | | | |



FORMULAS

$$\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$Sf = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$Ef = \frac{P' \cdot a}{4bh^3 \Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------|----------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | | NTC 663 | | | | | | | | | |
| NOVENA COHORTE | | FECHA: | | 10 de junio de 2011 | | | | | | | | | |
| ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONIA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | | TECA (TECTONIA GRANDIS) | | | | | | | | | |
| AUTOR | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA | | 550 | | | | | | | |
| DIRECTOR | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | 17.50% | | | | | | | |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | TEMPERATURA LUGAR | | 77% | | | | | | | | | |
| | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | | | | | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | 2.5 mm / min. | | | | | | | |
| | | ADHESIVO | | | | NUMERO DE PRUEBA | | | | | | | |
| | | LIQUIDO | | | | CLF - 12 | | | | | | | |
| TIPO | | MUF | | PRESIÓN DE PRENSADO | | 10.2 kg/cm2 | | | | | | | |
| ORIGEN | | AKZONOBEL | | FORMA | | LIQUIDO | | | | | | | |
| | | | | | | TIEMPO DE PRENSADO | | | | | | | |
| | | | | | | 24 HORAS | | | | | | | |
| Numero de lectura | | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P _r - (Kgf) | Carga limite proporcional -P _p - (Kgf) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm ²) | Esfuerzo al limite proporcional -Sf- (Kgf/cm ²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm ²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm ²) |
| 1 | 0.75 | 7 | 0.0002 | 0.0002 | 3.21 | 3.58 | 69.00 | 351.42 | 322.46 | 885.21 | 812.26 | 78,205.26 | 22.94 |
| 2 | 11.56 | 113 | 0.0830 | 0.0830 | | | | | | | | | |
| 3 | 24.70 | 242 | 0.1714 | 0.1714 | | | | | | | | | |
| 4 | 38.50 | 377 | 0.2596 | 0.2596 | | | | | | | | | |
| 5 | 52.96 | 519 | 0.3475 | 0.3475 | | | | | | | | | |
| 6 | 67.98 | 666 | 0.4359 | 0.4359 | | | | | | | | | |
| 7 | 83.24 | 816 | 0.5248 | 0.5248 | | | | | | | | | |
| 8 | 98.58 | 966 | 0.6138 | 0.6138 | | | | | | | | | |
| 9 | 113.88 | 1,116 | 0.7027 | 0.7027 | | | | | | | | | |
| 10 | 129.27 | 1,267 | 0.7917 | 0.7917 | | | | | | | | | |
| 11 | 144.43 | 1,415 | 0.8807 | 0.8807 | | | | | | | | | |
| 12 | 159.78 | 1,566 | 0.9696 | 0.9696 | | | | | | | | | |
| 13 | 174.94 | 1,714 | 1.0586 | 1.0586 | | | | | | | | | |
| 14 | 189.73 | 1,859 | 1.1476 | 1.1476 | | | | | | | | | |
| 15 | 204.09 | 2,000 | 1.2365 | 1.2365 | | | | | | | | | |
| 16 | 218.08 | 2,137 | 1.3255 | 1.3255 | | | | | | | | | |
| 17 | 231.27 | 2,266 | 1.4144 | 1.4144 | | | | | | | | | |
| 18 | 243.90 | 2,390 | 1.5034 | 1.5034 | | | | | | | | | |
| 19 | 255.61 | 2,505 | 1.5923 | 1.5923 | | | | | | | | | |
| 20 | 266.50 | 2,612 | 1.6813 | 1.6813 | | | | | | | | | |
| 21 | 276.56 | 2,710 | 1.7702 | 1.7702 | | | | | | | | | |
| 22 | 285.83 | 2,801 | 1.8592 | 1.8592 | | | | | | | | | |
| 23 | 294.48 | 2,886 | 1.9482 | 1.9482 | | | | | | | | | |
| 24 | 302.34 | 2,963 | 2.0371 | 2.0371 | | | | | | | | | |
| 25 | 309.45 | 3,033 | 2.1261 | 2.1261 | | | | | | | | | |
| 26 | 316.23 | 3,099 | 2.2151 | 2.2151 | | | | | | | | | |
| 27 | 322.46 | 3,160 | 2.3040 | 2.3040 | | | | | | | | | |
| 28 | 328.27 | 3,217 | 2.3930 | 2.3930 | | | | | | | | | |
| 29 | 333.69 | 3,270 | 2.4820 | 2.4820 | | | | | | | | | |
| 30 | 338.70 | 3,319 | 2.5709 | 2.5709 | | | | | | | | | |
| 31 | 343.33 | 3,365 | 2.6599 | 2.6599 | | | | | | | | | |
| 32 | 347.64 | 3,407 | 2.7488 | 2.7488 | | | | | | | | | |
| 33 | 351.42 | 3,444 | 2.8319 | 2.8319 | | | | | | | | | |

GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN

a) Tensión simple (vista lateral)

GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN


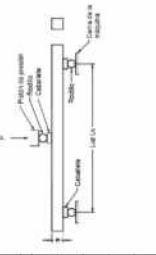
FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PRUEBA

FORMULAS

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bf^2}$$

$$E_f = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta}$$

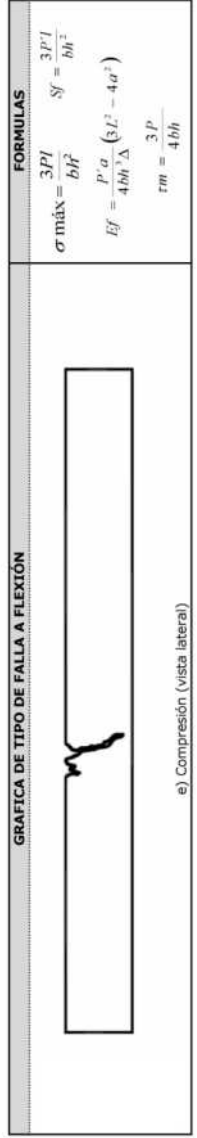
$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------|---------------------------------|--------------------------------|--------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | | |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: NTC 663 | | FECHA: 10 de junio de 2011 | | | | |
| TRABAJO DE GRADO | | NOVENA COHORTE | | ESPECIE: TECA (TECTONA GRANDIS) | | | |  | |
| AUTOR | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA | | 550 | | | |
| DIRECTOR | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANG PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | 16.00% | | | |
| | | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | | 77% | | | |
| | | | | TEMPERATURA LUGAR | | 15°C | | | |

| | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO DE SINDU | MAQUINA DE ENSAYO | COMPUTER SERVO CONTROL | NUMERO DE PROBETA |
| | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | 2.5 mm / min. | |

| | | | |
|-------------|-----------|-------------------|-------------|
| ADHESIVO | | | |
| TIPO ORIGEN | MUF | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO |
| | AKZONOBEL | | |
| | | FORMA | |
| | | | 10.2 kg/cm2 |
| | | | 24 HORAS |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.75 | 7 | 0.0002 |
| 2 | 17.36 | 170 | 0.0943 |
| 3 | 38.27 | 375 | 0.1940 |
| 4 | 60.73 | 595 | 0.2932 |
| 5 | 84.83 | 831 | 0.3923 |
| 6 | 110.14 | 1079 | 0.4925 |
| 7 | 136.25 | 1335 | 0.5928 |
| 8 | 162.64 | 1594 | 0.6931 |
| 9 | 189.02 | 1852 | 0.7934 |
| 10 | 215.41 | 2111 | 0.8937 |
| 11 | 241.43 | 2366 | 0.9940 |
| 12 | 265.90 | 2606 | 1.0943 |
| 13 | 287.98 | 2822 | 1.1946 |
| 14 | 307.07 | 3009 | 1.2949 |
| 15 | 319.80 | 3134 | 1.3951 |
| 16 | 313.05 | 3068 | 1.4954 |
| 17 | 319.93 | 3135 | 1.5957 |
| 18 | 330.22 | 3236 | 1.6960 |
| 19 | 340.01 | 3332 | 1.7963 |
| 20 | 348.95 | 3420 | 1.8966 |
| 21 | 357.04 | 3499 | 1.9969 |
| 22 | 364.53 | 3572 | 2.0972 |
| 23 | 371.26 | 3638 | 2.1975 |
| 24 | 377.25 | 3697 | 2.2978 |
| 25 | 382.82 | 3752 | 2.3980 |
| 26 | 387.55 | 3798 | 2.4983 |
| 27 | 391.29 | 3835 | 2.5986 |
| 28 | 394.37 | 3865 | 2.6989 |
| 29 | 396.71 | 3888 | 2.7992 |
| 30 | 398.63 | 3907 | 2.8995 |
| 31 | 400.08 | 3921 | 2.9998 |
| 32 | 402.05 | 3940 | 3.1001 |
| 33 | 403.64 | 3956 | 3.1936 |

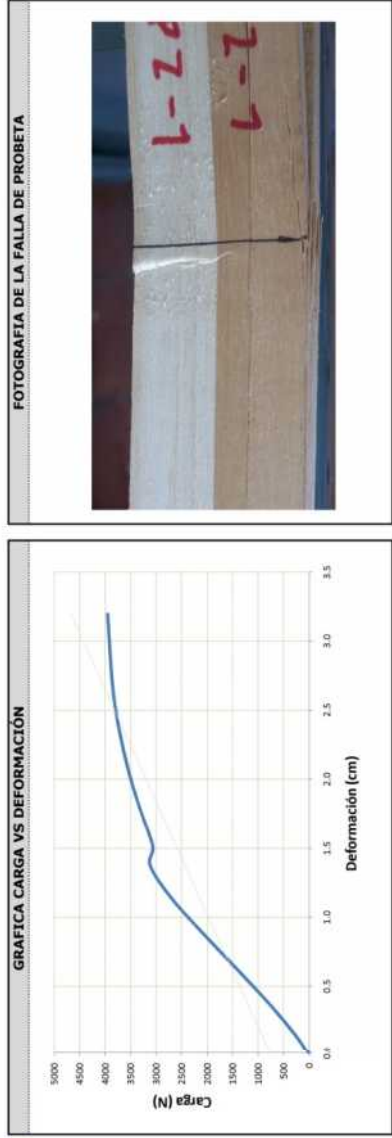


FORMULAS

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bh^2}$$


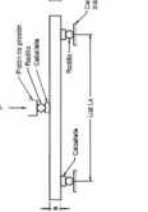
$$Ef = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

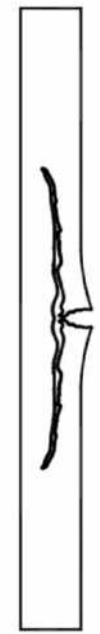
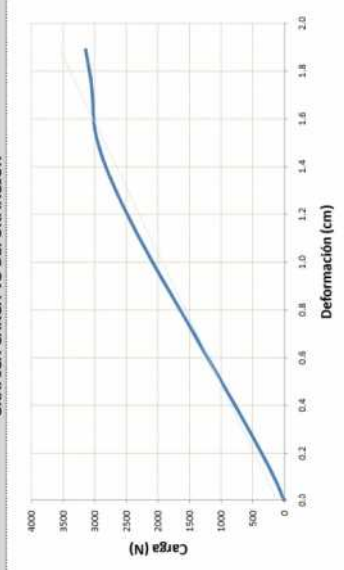
$$rm = \frac{3P}{4bh}$$




CLF - 13

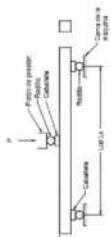
| | |
|---------------------------------------------------|------------|
| Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | 918.38 |
| Esfuerzo al límite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | 727.61 |
| Módulo Elástico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | 112,415.81 |
| Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) | 24.50 |

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|  | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | |
| | | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NOVENA COHORTE | | NORMA: MTC 663 | | FECHA: 10 de Junio de 2011 | |
| TRABAJO DE GRADO | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE: TECA (TECTONA GRANDIS) | | DENSIDAD BÁSICA: 550 | |  | |
| AUTOR | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | CONTENIDO DE HUMEDAD: 16.40% | | | | | |
| DIRECTOR | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR: 77% | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBETA | |
| | | | | | | | | CLF - 14 | |
| ADHESIVO | | | | | | | | | |
| TIPO | | LIQUIDO | | PRESIÓN DE PRENSADO | | 10.2 kg/cm2 | | | |
| ORIGEN | | AKZONOBEL | | FORMA | | TIEMPO DE PRENSADO | | 24 HORAS | |
| Numero de lectura | | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Carga limite proporcional -P- (Kgf) |
| 1 | 0.70 | 7 | 0.0002 | 3.29 | 3.64 | 69.00 | 320.78 | 307.49 | 761.16 |
| 2 | 8.80 | 86 | 0.0534 | | | | | | 729.64 |
| 3 | 19.28 | 189 | 0.1122 | | | | | | |
| 4 | 31.02 | 304 | 0.1711 | | | | | | |
| 5 | 43.05 | 422 | 0.2297 | | | | | | |
| 6 | 55.45 | 543 | 0.2882 | | | | | | |
| 7 | 68.08 | 667 | 0.3467 | | | | | | |
| 8 | 80.85 | 792 | 0.4053 | | | | | | |
| 9 | 93.81 | 919 | 0.4644 | | | | | | |
| 10 | 106.87 | 1,047 | 0.5236 | | | | | | |
| 11 | 120.01 | 1,176 | 0.5828 | | | | | | |
| 12 | 133.20 | 1,305 | 0.6419 | | | | | | |
| 13 | 146.31 | 1,434 | 0.7011 | | | | | | |
| 14 | 159.46 | 1,563 | 0.7602 | | | | | | |
| 15 | 172.74 | 1,693 | 0.8194 | | | | | | |
| 16 | 185.94 | 1,822 | 0.8786 | | | | | | |
| 17 | 199.18 | 1,952 | 0.9378 | | | | | | |
| 18 | 212.05 | 2,078 | 0.9969 | | | | | | |
| 19 | 224.62 | 2,201 | 1.0561 | | | | | | |
| 20 | 236.93 | 2,322 | 1.1153 | | | | | | |
| 21 | 248.73 | 2,438 | 1.1744 | | | | | | |
| 22 | 260.00 | 2,548 | 1.2336 | | | | | | |
| 23 | 270.71 | 2,653 | 1.2928 | | | | | | |
| 24 | 280.73 | 2,751 | 1.3519 | | | | | | |
| 25 | 289.94 | 2,841 | 1.4111 | | | | | | |
| 26 | 297.76 | 2,918 | 1.4702 | | | | | | |
| 27 | 303.89 | 2,978 | 1.5294 | | | | | | |
| 28 | 307.49 | 3,013 | 1.5886 | | | | | | |
| 29 | 308.99 | 3,028 | 1.6477 | | | | | | |
| 30 | 310.02 | 3,038 | 1.7069 | | | | | | |
| 31 | 312.50 | 3,062 | 1.7661 | | | | | | |
| 32 | 316.38 | 3,101 | 1.8253 | | | | | | |
| 33 | 320.78 | 3,144 | 1.8882 | | | | | | |

| | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | | FORMULAS $\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bh^2}$ $Sf = \frac{3Pl}{bh^2}$ $Ef = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} (bl^2 - 4a^2)$ $rm = \frac{3P}{4bh}$ | |
| GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN a) Tensión simple (vista lateral) | | GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN  | |
| RESISTENCIA MÁXIMA A LA FLEXIÓN -o máx- -Sf- (Kgf/cm²) | | ESFUERZO AL LÍMITE PROPORCIONAL -P- (Kgf) | |
| MÓDULO ELÁSTICO APARENTE -Ef- (Kgf/cm²) | | ESFUERZO AL CORTE -tm- (Kgf/cm²) | |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| FOTOGRAFÍA DE LA FALLA DE PROBETA  | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | ENSAYO | ESQUEMA DE LA PRUEBA |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | NORMA: NTC 663 | |
| | NOVENA COHORTE | FECHA: 10 de junio de 2011 | |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | ESPECIE TECA (TECTONA GRANDIS) | |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | DENSIDAD BÁSICA 550 | |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | CONTENIDO DE HUMEDAD 13.20% | |
| | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | HUMEDAD RELATIVA LUGAR 77% | |
| | | TEMPERATURA LUGAR 15°C | |



| | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO DE SINDU | MAQUINA DE ENSAYO | COMPUTER SERVO CONTROL | NUMERO DE PROBETA |
| | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | 2.5 mm / min. | |
| ADHESIVO | | | | |
| TIPO | MUF | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO | PRESIÓN DE PRENSADO |
| ORIGEN | AKZONOBEL | FORMA | | TIEMPO DE PRENSADO |
| | | | | 10.2 kg/cm2 |
| | | | | 24 HORAS |

CLF - 15

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|-------------------------|------|------------------------------|-------|------------------------|--------|-------------------------------------|--------|---------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------|-----------|----------------------------------|-------|
| Ancho de probeta -b- (cm) | 3.88 | Altura probeta -h- (cm) | 3.57 | Longitud de probeta -L- (cm) | 69.00 | Carga rotura -P- (Kgf) | 456.56 | Carga limite proporcional -P- (Kgf) | 416.60 | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kaf/cm²) | 958.07 | Esfuerzo al límite proporcional -Sf- (Kaf/cm²) | 874.22 | Módulo Elástico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | 84,870.63 | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) | 24.77 |
|---------------------------|------|-------------------------|------|------------------------------|-------|------------------------|--------|-------------------------------------|--------|---------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------|-----------|----------------------------------|-------|

GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN



a) Tensión simple (vista lateral)

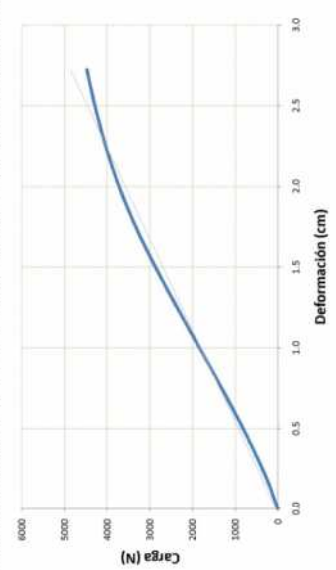
FORMULAS

$$\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$E_f = \frac{P'u}{4bh^3\Delta} (3L^2 - 4u^2)$$

$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN



FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA



| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.75 | 7 | 0.0003 |
| 2 | 11.41 | 112 | 0.0792 |
| 3 | 23.44 | 230 | 0.1640 |
| 4 | 37.38 | 366 | 0.2484 |
| 5 | 52.54 | 515 | 0.3326 |
| 6 | 67.85 | 665 | 0.4170 |
| 7 | 84.13 | 824 | 0.5022 |
| 8 | 101.25 | 992 | 0.5874 |
| 9 | 118.65 | 1,163 | 0.6726 |
| 10 | 136.43 | 1,337 | 0.7577 |
| 11 | 154.30 | 1,512 | 0.8429 |
| 12 | 172.37 | 1,689 | 0.9281 |
| 13 | 190.66 | 1,868 | 1.0133 |
| 14 | 208.91 | 2,047 | 1.0985 |
| 15 | 226.92 | 2,224 | 1.1837 |
| 16 | 245.17 | 2,403 | 1.2689 |
| 17 | 263.05 | 2,578 | 1.3540 |
| 18 | 280.78 | 2,752 | 1.4392 |
| 19 | 297.89 | 2,919 | 1.5244 |
| 20 | 314.51 | 3,082 | 1.6096 |
| 21 | 330.37 | 3,238 | 1.6947 |
| 22 | 345.38 | 3,385 | 1.7799 |
| 23 | 359.57 | 3,524 | 1.8651 |
| 24 | 372.81 | 3,654 | 1.9503 |
| 25 | 384.92 | 3,772 | 2.0355 |
| 26 | 396.25 | 3,883 | 2.1207 |
| 27 | 406.83 | 3,987 | 2.2058 |
| 28 | 416.60 | 4,083 | 2.2910 |
| 29 | 425.59 | 4,171 | 2.3761 |
| 30 | 434.00 | 4,253 | 2.4614 |
| 31 | 441.86 | 4,330 | 2.5466 |
| 32 | 449.25 | 4,403 | 2.6318 |
| 33 | 456.56 | 4,474 | 2.7220 |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|--------------------------------|------|------------------------|--------|--------|--------|-----------|-------|
| MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | | NTC 663 | | | | | | | |
| NOVENA COHORTE | | FECHA: | | 10 de junio de 2011 | | | | | | | |
| ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | | | | | |
| AUTOR | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA | | 550 | | | | | |
| DIRECTOR | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | 12.40% | | | | | |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | | 77% | | | | | |
| | | TEMPERATURA LUGAR | | 15°C | | | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | | | | | |
| | | ADHESIVO | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | 2.5 mm / min. | | | | | |
| TIPO | | LIQUIDO | | PRESIÓN DE PRENSADO | | 10.2 kg/cm2 | | | | | |
| ORIGEN | | FORMA | | TIEMPO DE PRENSADO | | 24 HORAS | | | | | |
| 1 | 0.80 | 8 | 0.0002 | 3.56 | 3.52 | 69.00 | 384.56 | 901.74 | 836.99 | 91,906.11 | 23.00 |
| 2 | 11.41 | 112 | 0.0705 | | | | | | | | |
| 3 | 25.13 | 246 | 0.1465 | | | | | | | | |
| 4 | 39.40 | 386 | 0.2222 | | | | | | | | |
| 5 | 54.13 | 531 | 0.2978 | | | | | | | | |
| 6 | 69.20 | 678 | 0.3733 | | | | | | | | |
| 7 | 84.41 | 827 | 0.4493 | | | | | | | | |
| 8 | 99.84 | 978 | 0.5258 | | | | | | | | |
| 9 | 115.43 | 1,131 | 0.6021 | | | | | | | | |
| 10 | 130.96 | 1,283 | 0.6784 | | | | | | | | |
| 11 | 146.49 | 1,436 | 0.7548 | | | | | | | | |
| 12 | 162.17 | 1,589 | 0.8312 | | | | | | | | |
| 13 | 177.84 | 1,743 | 0.9076 | | | | | | | | |
| 14 | 193.37 | 1,895 | 0.9839 | | | | | | | | |
| 15 | 208.82 | 2,046 | 1.0604 | | | | | | | | |
| 16 | 224.11 | 2,196 | 1.1366 | | | | | | | | |
| 17 | 238.90 | 2,341 | 1.2130 | | | | | | | | |
| 18 | 253.45 | 2,484 | 1.2894 | | | | | | | | |
| 19 | 267.34 | 2,620 | 1.3658 | | | | | | | | |
| 20 | 280.35 | 2,747 | 1.4421 | | | | | | | | |
| 21 | 292.66 | 2,868 | 1.5185 | | | | | | | | |
| 22 | 304.22 | 2,981 | 1.5949 | | | | | | | | |
| 23 | 314.74 | 3,084 | 1.6712 | | | | | | | | |
| 24 | 324.53 | 3,180 | 1.7476 | | | | | | | | |
| 25 | 333.56 | 3,269 | 1.8240 | | | | | | | | |
| 26 | 341.97 | 3,351 | 1.9004 | | | | | | | | |
| 27 | 349.79 | 3,428 | 1.9767 | | | | | | | | |
| 28 | 356.94 | 3,498 | 2.0531 | | | | | | | | |
| 29 | 362.37 | 3,551 | 2.1294 | | | | | | | | |
| 30 | 368.40 | 3,610 | 2.2059 | | | | | | | | |
| 31 | 374.26 | 3,668 | 2.2822 | | | | | | | | |
| 32 | 379.78 | 3,722 | 2.3586 | | | | | | | | |
| 33 | 384.56 | 3,769 | 2.4295 | | | | | | | | |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.80 | 8 | 0.0002 |
| 2 | 11.41 | 112 | 0.0705 |
| 3 | 25.13 | 246 | 0.1465 |
| 4 | 39.40 | 386 | 0.2222 |
| 5 | 54.13 | 531 | 0.2978 |
| 6 | 69.20 | 678 | 0.3733 |
| 7 | 84.41 | 827 | 0.4493 |
| 8 | 99.84 | 978 | 0.5258 |
| 9 | 115.43 | 1,131 | 0.6021 |
| 10 | 130.96 | 1,283 | 0.6784 |
| 11 | 146.49 | 1,436 | 0.7548 |
| 12 | 162.17 | 1,589 | 0.8312 |
| 13 | 177.84 | 1,743 | 0.9076 |
| 14 | 193.37 | 1,895 | 0.9839 |
| 15 | 208.82 | 2,046 | 1.0604 |
| 16 | 224.11 | 2,196 | 1.1366 |
| 17 | 238.90 | 2,341 | 1.2130 |
| 18 | 253.45 | 2,484 | 1.2894 |
| 19 | 267.34 | 2,620 | 1.3658 |
| 20 | 280.35 | 2,747 | 1.4421 |
| 21 | 292.66 | 2,868 | 1.5185 |
| 22 | 304.22 | 2,981 | 1.5949 |
| 23 | 314.74 | 3,084 | 1.6712 |
| 24 | 324.53 | 3,180 | 1.7476 |
| 25 | 333.56 | 3,269 | 1.8240 |
| 26 | 341.97 | 3,351 | 1.9004 |
| 27 | 349.79 | 3,428 | 1.9767 |
| 28 | 356.94 | 3,498 | 2.0531 |
| 29 | 362.37 | 3,551 | 2.1294 |
| 30 | 368.40 | 3,610 | 2.2059 |
| 31 | 374.26 | 3,668 | 2.2822 |
| 32 | 379.78 | 3,722 | 2.3586 |
| 33 | 384.56 | 3,769 | 2.4295 |

| TIPO | MUF | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO | PRESIÓN DE PRENSADO | TIEMPO DE PRENSADO |
|--------|-----------|-------------------|---------|---------------------|--------------------|
| ORIGEN | AKZONOBEL | FORMA | | 10.2 kg/cm2 | 24 HORAS |

| Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Carga límite proporcional -p*- (Kgf) | Carga rotura -p- (Kgf) | Longitud de probeta -L- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 901.74 | 356.94 | 384.56 | 69.00 | 3.52 | 3.56 |

| Módulo Elástico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al límite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|
| 91,906.11 | 836.99 | 23.00 |

CLF - 16

NUMERO DE PROBETA

GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN

a) Tensión simple (vista lateral)

FORMULAS

$$\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bh^2}$$


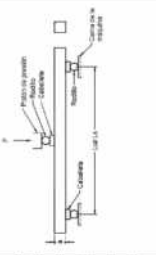
$$Sf = \frac{3P'}{bh^2}$$

$$Ef = \frac{P'a}{4bh^3\Delta}$$

$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN

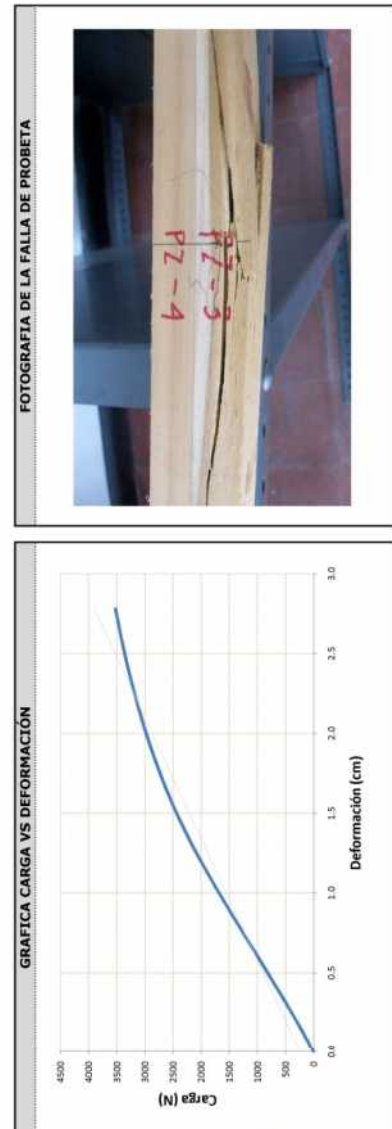
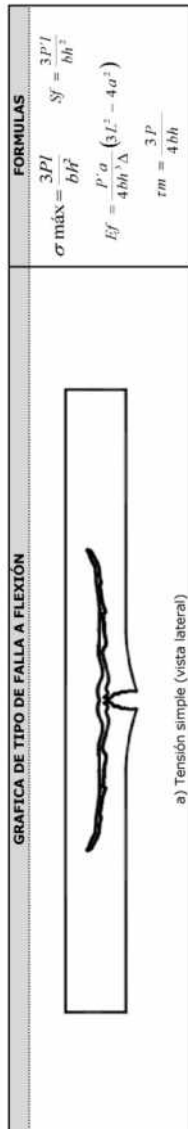
FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA

| | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------|--------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | NTC 663 | |  |
| NOVENA COHORTE | | FECHA: | 10 de junio de 2011 | | | |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | TECA (TECTONA GRANDIS) | | |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA | 550 | | |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD | 18.40% | | |
| | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | 77% | | |
| | | | TEMPERATURA LUGAR | 15°C | | |

| | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO DE SINDU | MAQUINA DE ENSAYO | COMPUTER SERVO CONTROL | NUMERO DE PROBETA |
| | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | 2.5 mm / min. | CLF - 17 |

| | | | | |
|----------|--|---------|--------------------|-------------|
| ADHESIVO | | LIQUIDO | TIEMPO DE PRENSADO | 10.2 kg/cm2 |
| | | | | 24 HORAS |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Carga limite proporcional -P'- (Kgf) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al límite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0.75 | 7 | 0.0002 | 3.52 | 3.71 | 69.00 | 359.66 | 326.20 | 769.83 | 698.21 | 66,143.79 | 20.67 |
| 2 | 12.58 | 123 | 0.0814 | | | | | | | | | |
| 3 | 26.34 | 258 | 0.1681 | | | | | | | | | |
| 4 | 40.71 | 399 | 0.2546 | | | | | | | | | |
| 5 | 55.54 | 544 | 0.3409 | | | | | | | | | |
| 6 | 70.84 | 694 | 0.4275 | | | | | | | | | |
| 7 | 86.14 | 844 | 0.5148 | | | | | | | | | |
| 8 | 101.72 | 997 | 0.6021 | | | | | | | | | |
| 9 | 117.29 | 1,149 | 0.6894 | | | | | | | | | |
| 10 | 132.79 | 1,301 | 0.7766 | | | | | | | | | |
| 11 | 148.18 | 1,452 | 0.8639 | | | | | | | | | |
| 12 | 163.39 | 1,601 | 0.9512 | | | | | | | | | |
| 13 | 178.31 | 1,747 | 1.0384 | | | | | | | | | |
| 14 | 192.95 | 1,891 | 1.1257 | | | | | | | | | |
| 15 | 206.99 | 2,028 | 1.2130 | | | | | | | | | |
| 16 | 220.56 | 2,161 | 1.3003 | | | | | | | | | |
| 17 | 233.38 | 2,287 | 1.3876 | | | | | | | | | |
| 18 | 245.59 | 2,407 | 1.4748 | | | | | | | | | |
| 19 | 257.01 | 2,519 | 1.5622 | | | | | | | | | |
| 20 | 267.72 | 2,624 | 1.6494 | | | | | | | | | |
| 21 | 277.63 | 2,721 | 1.7367 | | | | | | | | | |
| 22 | 286.95 | 2,812 | 1.8240 | | | | | | | | | |
| 23 | 295.74 | 2,898 | 1.9112 | | | | | | | | | |
| 24 | 303.98 | 2,979 | 1.9986 | | | | | | | | | |
| 25 | 311.75 | 3,055 | 2.0858 | | | | | | | | | |
| 26 | 319.14 | 3,128 | 2.1731 | | | | | | | | | |
| 27 | 326.20 | 3,197 | 2.2604 | | | | | | | | | |
| 28 | 332.66 | 3,260 | 2.3477 | | | | | | | | | |
| 29 | 338.84 | 3,321 | 2.4350 | | | | | | | | | |
| 30 | 344.64 | 3,377 | 2.5222 | | | | | | | | | |
| 31 | 350.06 | 3,431 | 2.6095 | | | | | | | | | |
| 32 | 355.17 | 3,481 | 2.6968 | | | | | | | | | |
| 33 | 359.66 | 3,525 | 2.7782 | | | | | | | | | |




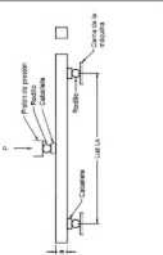
FORMULAS

$$\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bh^2} \quad Sf = \frac{3P'l}{bh^2}$$

$$Ef = \frac{P'a}{4bh^3\Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

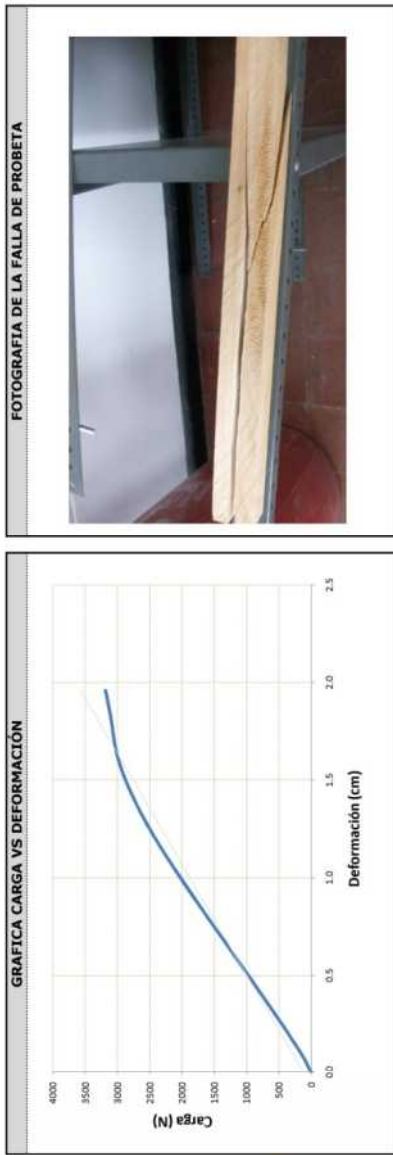
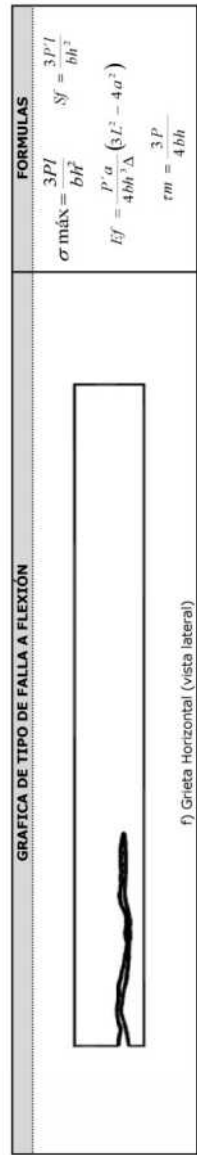
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | ENSAYO | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | ESQUEMA DE LA PRUEBA | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|-----------|
| TRABAJO DE GRADO | | NORMA: | NTC 663 | | |
| AUTOR | | FECHA: | 10 de junio de 2011 | | |
| DIRECTOR | | ESPECIE | TECA (TECTONA GRANDIS) | | |
| | | DENSIDAD BÁSICA | 550 | | |
| | | CONTENIDO DE HUMEDAD | 16.50% | | |
| | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | 77% | |
| | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | TEMPERATURA LUGAR | 15°C | |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | MAQUINA DE ENSAYO | COMPUTER SERVO CONTROL | NUMERO DE PROBETA | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | |
| | | | 2.5 mm / min. | | |
| | | ADHESIVO | | | |
| TIPO | MUF | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO | | |
| ORIGEN | AKZONOBEL | FORMA | | | |
| | | | PRESIÓN DE PRENSADO | 10.2 kg/cm2 | |
| | | | TIEMPO DE PRENSADO | 24 HORAS | |
| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | | |
| 1 | 0.80 | 8 | 0.0002 | | |
| 2 | 9.40 | 92 | 0.0784 | | |
| 3 | 24.94 | 244 | 0.1623 | | |
| 4 | 40.84 | 400 | 0.2459 | | |
| 5 | 57.22 | 561 | 0.3292 | | |
| 6 | 73.55 | 721 | 0.4128 | | |
| 7 | 89.74 | 879 | 0.4972 | | |
| 8 | 105.83 | 1037 | 0.5815 | | |
| 9 | 121.84 | 1194 | 0.6660 | | |
| 10 | 137.74 | 1350 | 0.7502 | | |
| 11 | 153.60 | 1505 | 0.8346 | | |
| 12 | 169.51 | 1661 | 0.9189 | | |
| 13 | 185.33 | 1816 | 1.0033 | | |
| 14 | 200.95 | 1969 | 1.0876 | | |
| 15 | 216.40 | 2121 | 1.1719 | | |
| 16 | 231.41 | 2268 | 1.2562 | | |
| 17 | 245.97 | 2410 | 1.3406 | | |
| 18 | 260.04 | 2548 | 1.4249 | | |
| 19 | 273.28 | 2678 | 1.5093 | | |
| 20 | 285.68 | 2800 | 1.5936 | | |
| 21 | 297.20 | 2913 | 1.6780 | | |
| 22 | 307.78 | 3016 | 1.7623 | | |
| 23 | 317.46 | 3111 | 1.8467 | | |
| 24 | 326.53 | 3200 | 1.9310 | | |
| 25 | 334.77 | 3281 | 2.0153 | | |
| 26 | 342.58 | 3357 | 2.0997 | | |
| 27 | 349.64 | 3426 | 2.1841 | | |
| 28 | 356.52 | 3494 | 2.2683 | | |
| 29 | 362.75 | 3555 | 2.3527 | | |
| 30 | 368.78 | 3614 | 2.4370 | | |
| 31 | 374.30 | 3668 | 2.5214 | | |
| 32 | 379.50 | 3719 | 2.6057 | | |
| 33 | 384.46 | 3768 | 2.6960 | | |
| Ancho de probeta (cm) | 3.92 | Altura probeta (cm) | 3.53 | Longitud de probeta (cm) | 69.00 |
| Carga rotura (Kgf) | 384.46 | Carga limite proporcional (Kgf) | 285.68 | Resistencia máxima a la flexión (Kgf/cm²) | 815.28 |
| | | | | Esfuerzo al límite proporcional (Kgf/cm²) | 605.81 |
| | | | | Módulo Elástico aparente (Kgf/cm²) | 85,469.04 |
| | | | | Esfuerzo al corte (Kgf/cm²) | 20.85 |
| GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN a) Tensión simple (vista lateral) | | | | | |
| FORMULAS $\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bh^2}$ $E_f = \frac{P \cdot d}{4bh \cdot \Delta} \left(3L^2 - 4d^2 \right)$ $\tau_m = \frac{3P}{4bh}$ | | | | | |
| GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN | | | | | |
| FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------|--|--------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | | NTC 663 | |  | |
| | NOVENA COHORTE | | FECHA: | | 10 de junio de 2011 | | | |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | | | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | | | DENSIDAD BÁSICA | | 550 | |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | 15.00% | |
| | OBJETIVO ESPECÍFICO NUMERO 2 | | | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | | 77% | |
| | | | | | TEMPERATURA LUGAR | | 15°C | |

| | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO DE SINDU | MAQUINA DE ENSAYO | COMPUTER SERVO CONTROL | NUMERO DE PROBETA |
| | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | 2.5 mm / min. | |

| | | | |
|----------|-----------|----------------------|-------------|
| ADHESIVO | | | |
| TIPO | MUF | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO |
| ORIGEN | AKZONOBEL | FORMA | |
| | | PRESSION DE PRENSADO | 10.2 kg/cm2 |
| | | TIEMPO DE PRENSADO | 24 HORAS |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.75 | 7 | 0.0002 |
| 2 | 8.23 | 81 | 0.0555 |
| 3 | 19.28 | 189 | 0.1164 |
| 4 | 31.58 | 310 | 0.1773 |
| 5 | 43.79 | 429 | 0.2380 |
| 6 | 56.61 | 555 | 0.2986 |
| 7 | 69.48 | 681 | 0.3591 |
| 8 | 82.44 | 808 | 0.4199 |
| 9 | 95.45 | 935 | 0.4812 |
| 10 | 108.59 | 1064 | 0.5425 |
| 11 | 121.84 | 1194 | 0.6037 |
| 12 | 135.13 | 1324 | 0.6649 |
| 13 | 148.32 | 1454 | 0.7262 |
| 14 | 161.60 | 1584 | 0.7876 |
| 15 | 174.75 | 1713 | 0.8489 |
| 16 | 187.76 | 1840 | 0.9102 |
| 17 | 200.67 | 1967 | 0.9714 |
| 18 | 213.40 | 2091 | 1.0327 |
| 19 | 225.79 | 2213 | 1.0939 |
| 20 | 237.87 | 2331 | 1.1552 |
| 21 | 249.29 | 2443 | 1.2165 |
| 22 | 260.14 | 2549 | 1.2777 |
| 23 | 270.35 | 2649 | 1.3389 |
| 24 | 279.70 | 2741 | 1.4003 |
| 25 | 288.31 | 2825 | 1.4615 |
| 26 | 296.13 | 2902 | 1.5228 |
| 27 | 302.62 | 2966 | 1.5840 |
| 28 | 307.95 | 3018 | 1.6453 |
| 29 | 311.56 | 3053 | 1.7066 |
| 30 | 314.09 | 3078 | 1.7679 |
| 31 | 317.17 | 3108 | 1.8291 |
| 32 | 320.73 | 3143 | 1.8904 |
| 33 | 324.94 | 3184 | 1.9576 |



FORMULAS

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$E_f = \frac{P^2 a}{4bh^3 \Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

$$r_m = \frac{3P}{4bh}$$

CLF - 19

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCION NOVENA COHORTE | | ENSAYO | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXION | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| | | NORMA: | NTC 663 | | | | |
| | | FECHA: | 10 de junio de 2011 | | | | |
| | | ESPECIE | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | | |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | DENSIDAD BASICA | 550 | | | | |
| AUTOR | ARQ. JOSE SIEDIL BARRETO CASTAÑEDA | CONTENIDO DE HUMEDAD | 13.40% | | | | |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PERA | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | 77% | | | | |
| | | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | TEMPERATURA LUGAR | | 15°C | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | MAQUINA DE ENSAYO | | NUMERO DE PROBEA | | |
| | | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | CLF - 20 | | |
| | | | COMPUTER SERVO CONTROL | | | | |
| | | | 2.5 mm / min. | | | | |
| | | | ADHESIVO | | | | |
| | | | LIQUIDO | | | | |
| | | | PRESION DE PRENSADO | | 10.2 kg/cm2 | | |
| | | | TIEMPO DE PRENSADO | | 24 HORAS | | |
| TIPO | MUF | CODIGO FABRICANTE | | | | | |
| ORIGEN | AKZONOBEL | FORMA | | | | | |
| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al límite proporcional -σf (Kgf/cm²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
| 1 | 0.84 | 8 | 0.0002 | | | | |
| 2 | 13.85 | 136 | 0.0976 | | | | |
| 3 | 30.88 | 303 | 0.2007 | | | | |
| 4 | 48.05 | 471 | 0.3031 | | | | |
| 5 | 65.74 | 644 | 0.4058 | | | | |
| 6 | 83.84 | 822 | 0.5093 | | | | |
| 7 | 102.23 | 1,002 | 0.6130 | | | | |
| 8 | 120.86 | 1,184 | 0.7167 | | | | |
| 9 | 139.66 | 1,369 | 0.8202 | | | | |
| 10 | 158.47 | 1,553 | 0.9239 | | | | |
| 11 | 177.28 | 1,737 | 1.0276 | | | | |
| 12 | 195.81 | 1,919 | 1.1312 | | | | |
| 13 | 214.01 | 2,097 | 1.2348 | | | | |
| 14 | 231.18 | 2,266 | 1.3385 | | | | |
| 15 | 247.98 | 2,430 | 1.4421 | | | | |
| 16 | 264.45 | 2,592 | 1.5458 | | | | |
| 17 | 279.61 | 2,740 | 1.6494 | | | | |
| 18 | 293.46 | 2,876 | 1.7535 | | | | |
| 19 | 306.00 | 2,999 | 1.8568 | | | | |
| 20 | 317.32 | 3,110 | 1.9605 | | | | |
| 21 | 327.33 | 3,208 | 2.0640 | | | | |
| 22 | 336.26 | 3,295 | 2.1678 | | | | |
| 23 | 344.22 | 3,373 | 2.2714 | | | | |
| 24 | 351.19 | 3,442 | 2.3751 | | | | |
| 25 | 357.36 | 3,502 | 2.4787 | | | | |
| 26 | 362.37 | 3,551 | 2.5822 | | | | |
| 27 | 366.12 | 3,588 | 2.6860 | | | | |
| 28 | 368.74 | 3,614 | 2.7895 | | | | |
| 29 | 371.08 | 3,637 | 2.8932 | | | | |
| 30 | 372.94 | 3,655 | 2.9968 | | | | |
| 31 | 375.66 | 3,682 | 3.1005 | | | | |
| 32 | 378.70 | 3,711 | 3.2037 | | | | |
| 33 | 380.53 | 3,729 | 3.2972 | | | | |

| Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Carga limite proporcional -P- (Kgf) |
|-------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 3.46 | 69.00 | 380.53 | 357.36 |

| Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Carga limite proporcional -P- (Kgf) |
|---------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 3.61 | 3.46 | 69.00 | 380.53 | 357.36 |

GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXION

a) Tensión simple (vista lateral)

GRAFICA CARGA VS DEFORMACION


FORMULAS

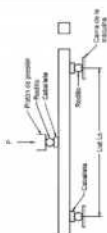
$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$E_f = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} (3l^2 - 4a^2)$$

$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

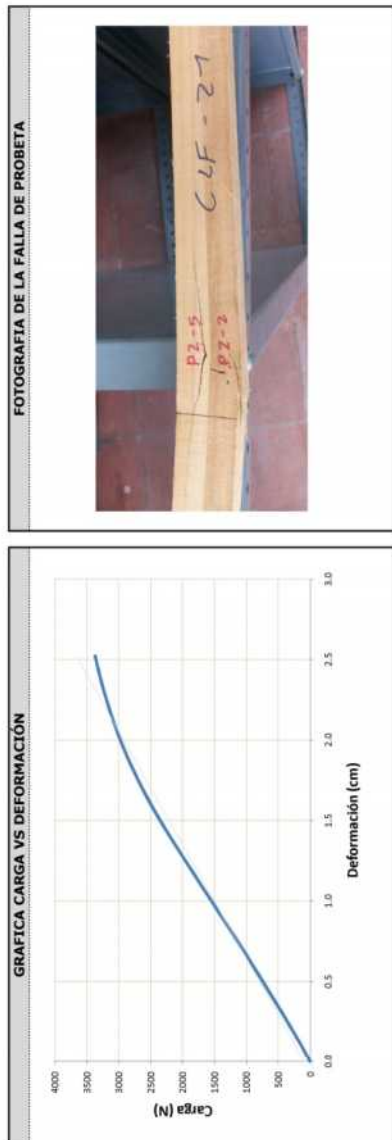
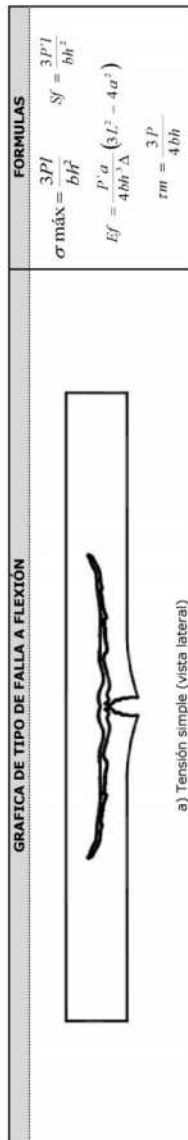
FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBEA

| | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------|--|--------------------------------|--|----------------------|--|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: NTC 663 | | FECHA: 10 de junio de 2011 | | | |
| TRABAJO DE GRADO | NOVENA COHORTE | | ESPECIE: TECA (TECTONA GRANDIS) | | | | | |
| AUTOR | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | CONTENIDO DE HUMEDAD: 55% | | | | | |
| DIRECTOR | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR: 77% | | | | | |
| | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | TEMPERATURA LUGAR: 15°C | | | | | |
| | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | | | | | | |



| | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------|--|-------------------------|--|------------------------|--|-------------------|--|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO DE SINDU | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBETA | |
| | | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | 2.5 mm / min. | | CLF - 21 | |

| TIPO | | ADHESIVO | | PRESIÓN DE PRENSADO | | TIEMPO DE PRENSADO | | | | | | |
|-------------------|-------------|----------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| ORIGEN | MUF | AKZONOBEL | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO | LIQUIDO | 10.2 kg/cm2 | 24 HORAS | | | | | |
| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Carga limite proporcional -P- (Kgf) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al límite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
| 1 | 0.70 | 7 | 0.0002 | 3.65 | 3.51 | 69.00 | 343.85 | 314.98 | 790.32 | 723.97 | 77,061.26 | 20.13 |
| 2 | 10.34 | 101 | 0.0730 | | | | | | | | | |
| 3 | 21.90 | 215 | 0.1514 | | | | | | | | | |
| 4 | 33.64 | 330 | 0.2297 | | | | | | | | | |
| 5 | 45.66 | 447 | 0.3077 | | | | | | | | | |
| 6 | 58.06 | 569 | 0.3857 | | | | | | | | | |
| 7 | 70.56 | 691 | 0.4644 | | | | | | | | | |
| 8 | 85.09 | 814 | 0.5434 | | | | | | | | | |
| 9 | 95.73 | 938 | 0.6222 | | | | | | | | | |
| 10 | 108.31 | 1,061 | 0.7011 | | | | | | | | | |
| 11 | 121.32 | 1,189 | 0.7800 | | | | | | | | | |
| 12 | 134.42 | 1,317 | 0.8589 | | | | | | | | | |
| 13 | 147.76 | 1,448 | 0.9377 | | | | | | | | | |
| 14 | 160.90 | 1,577 | 1.0167 | | | | | | | | | |
| 15 | 174.15 | 1,707 | 1.0955 | | | | | | | | | |
| 16 | 187.29 | 1,835 | 1.1744 | | | | | | | | | |
| 17 | 200.44 | 1,964 | 1.2533 | | | | | | | | | |
| 18 | 213.35 | 2,091 | 1.3322 | | | | | | | | | |
| 19 | 226.13 | 2,216 | 1.4111 | | | | | | | | | |
| 20 | 238.48 | 2,337 | 1.4900 | | | | | | | | | |
| 21 | 250.36 | 2,454 | 1.5689 | | | | | | | | | |
| 22 | 261.55 | 2,563 | 1.6478 | | | | | | | | | |
| 23 | 272.26 | 2,668 | 1.7266 | | | | | | | | | |
| 24 | 282.04 | 2,764 | 1.8055 | | | | | | | | | |
| 25 | 291.35 | 2,855 | 1.8844 | | | | | | | | | |
| 26 | 299.91 | 2,939 | 1.9633 | | | | | | | | | |
| 27 | 307.68 | 3,015 | 2.0422 | | | | | | | | | |
| 28 | 314.98 | 3,087 | 2.1210 | | | | | | | | | |
| 29 | 321.71 | 3,153 | 2.2000 | | | | | | | | | |
| 30 | 327.89 | 3,213 | 2.2788 | | | | | | | | | |
| 31 | 333.60 | 3,269 | 2.3578 | | | | | | | | | |
| 32 | 338.84 | 3,321 | 2.4366 | | | | | | | | | |
| 33 | 343.85 | 3,370 | 2.5201 | | | | | | | | | |



FORMULAS

$$\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$E_f = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------|--|--------------------------------|--|------------------------|--|
| MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | | NTC 663 | | | |
| NOVENA COHORTE | | FECHA: | | 23 de mayo de 2011 | | | |
| ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | |
| AUTOR | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA | | 550 | |
| DIRECTOR | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | 17.90% | |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | | 83% | |
| | | | | TEMPERATURA LUGAR | | 14°C | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | |
| | | | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | 2.5 mm / min. | |
| | | | | NUMERO DE PROBETA | | CLF - 22 | |

| ADHESIVO | | PRESIÓN DE PRENSADO | | TIEMPO DE PRENSADO | |
|----------|--|---------------------|--|--------------------|--|
| LIQUIDO | | 10.2 kg/cm2 | | 24 HORAS | |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.84 | 8 | 0.002 |
| 2 | 14.60 | 143 | 0.0909 |
| 3 | 30.37 | 298 | 0.1873 |
| 4 | 46.93 | 460 | 0.2832 |
| 5 | 64.05 | 628 | 0.3791 |
| 6 | 81.37 | 797 | 0.4751 |
| 7 | 98.72 | 967 | 0.5726 |
| 8 | 116.22 | 1139 | 0.6696 |
| 9 | 134.09 | 1314 | 0.7666 |
| 10 | 151.69 | 1487 | 0.8635 |
| 11 | 169.33 | 1659 | 0.9604 |
| 12 | 186.73 | 1830 | 1.0573 |
| 13 | 203.34 | 1993 | 1.1543 |
| 14 | 219.25 | 2149 | 1.2512 |
| 15 | 234.22 | 2295 | 1.3481 |
| 16 | 248.21 | 2432 | 1.4451 |
| 17 | 261.03 | 2558 | 1.5420 |
| 18 | 272.77 | 2673 | 1.6389 |
| 19 | 283.58 | 2779 | 1.7359 |
| 20 | 293.46 | 2876 | 1.8328 |
| 21 | 302.39 | 2963 | 1.9297 |
| 22 | 310.77 | 3046 | 2.0267 |
| 23 | 318.40 | 3120 | 2.1236 |
| 24 | 325.55 | 3190 | 2.2205 |
| 25 | 331.97 | 3253 | 2.3174 |
| 26 | 337.85 | 3311 | 2.4144 |
| 27 | 343.14 | 3363 | 2.5113 |
| 28 | 347.82 | 3409 | 2.6082 |
| 29 | 351.99 | 3450 | 2.7052 |
| 30 | 355.60 | 3485 | 2.8021 |
| 31 | 358.63 | 3515 | 2.8991 |
| 32 | 360.78 | 3536 | 2.9960 |
| 33 | 362.65 | 3554 | 3.0870 |

| Resistencia máxima a la flexión -σ max- (Kgf/cm²) | Carga rotura (Kgf) | Carga limite proporcional -P _p - (Kgf) | Esfuerzo al limite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
|---------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 971.42 | 362.65 | 325.55 | 872.03 | 89,331.97 | 24.56 |

GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN

FORMULAS


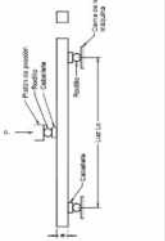
$$\sigma_{\max} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$E_f = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

$$\tau_m = \frac{3P}{4bh}$$

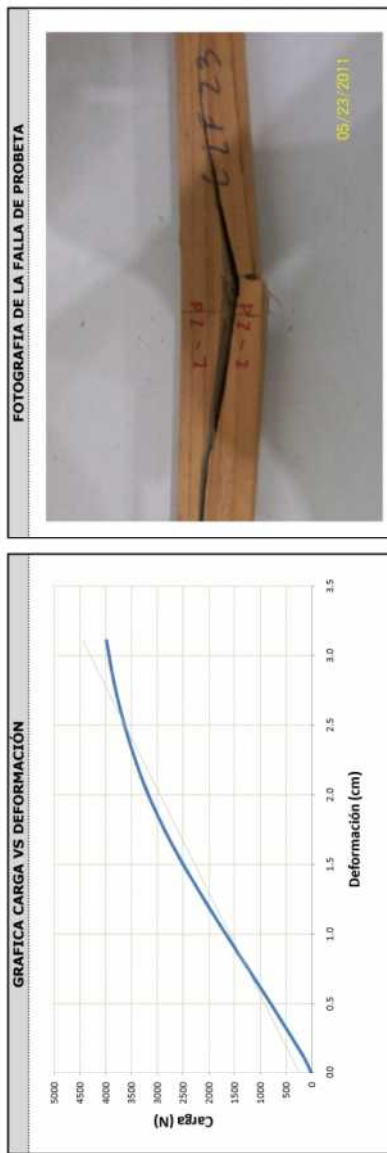
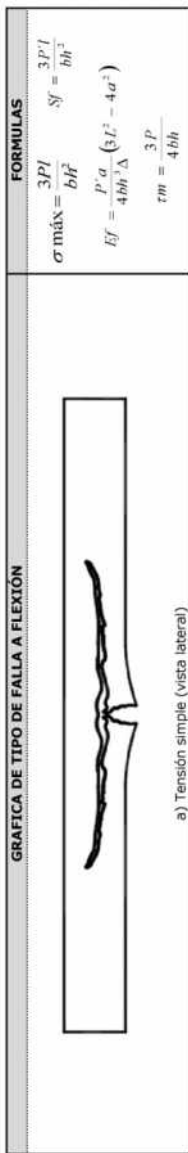
GRAFICA CARGA VS DEFORMACION

FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | ENSAYO | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | ESQUEMA DE LA PRUEBA |
| | TRABAJO DE GRADO | | NORMA: | NTC 663 |  |
| | AUTOR | | FECHA: | 23 de mayo de 2011 | |
| DIRECTOR | | ESPECIE DENSIDAD BÁSICA CONTENIDO DE HUMEDAD HUMEDAD RELATIVA LUGAR TEMPERATURA LUGAR | TECA (TECTONA GRANDIS) 550 14.50% 83% 14°C | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU ADHESIVO | MAQUINA DE ENSAYO VELOCIDAD DE LA MAQUINA | COMPUTER SERVO CONTROL 2.5 mm / min. | NUMERO DE PROBETA CLF - 23 |
| TIPO | MUF | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO | PRESIÓN DE PRENSADO | 10.2 kg/cm2 |
| ORIGEN | AKZONOBEL | FORMA | | TIEMPO DE PRENSADO | 24 HORAS |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.70 | 7 | 0.0002 |
| 2 | 12.03 | 118 | 0.0909 |
| 3 | 27.70 | 271 | 0.1878 |
| 4 | 43.94 | 431 | 0.2841 |
| 5 | 60.59 | 594 | 0.3803 |
| 6 | 77.57 | 760 | 0.4774 |
| 7 | 94.84 | 929 | 0.5748 |
| 8 | 111.96 | 1,097 | 0.6722 |
| 9 | 129.32 | 1,267 | 0.7695 |
| 10 | 146.68 | 1,437 | 0.8669 |
| 11 | 163.99 | 1,607 | 0.9642 |
| 12 | 181.16 | 1,775 | 1.0615 |
| 13 | 198.01 | 1,940 | 1.1589 |
| 14 | 214.90 | 2,106 | 1.2562 |
| 15 | 231.14 | 2,265 | 1.3536 |
| 16 | 247.18 | 2,422 | 1.4510 |
| 17 | 262.47 | 2,572 | 1.5483 |
| 18 | 277.17 | 2,716 | 1.6457 |
| 19 | 291.20 | 2,854 | 1.7430 |
| 20 | 304.31 | 2,982 | 1.8403 |
| 21 | 316.57 | 3,102 | 1.9377 |
| 22 | 327.98 | 3,214 | 2.0351 |
| 23 | 338.46 | 3,317 | 2.1324 |
| 24 | 348.05 | 3,411 | 2.2298 |
| 25 | 357.00 | 3,499 | 2.3271 |
| 26 | 365.22 | 3,579 | 2.4245 |
| 27 | 373.00 | 3,655 | 2.5218 |
| 28 | 380.11 | 3,725 | 2.6192 |
| 29 | 386.51 | 3,788 | 2.7165 |
| 30 | 392.51 | 3,847 | 2.8139 |
| 31 | 397.74 | 3,898 | 2.9112 |
| 32 | 402.57 | 3,945 | 3.0086 |
| 33 | 407.06 | 3,989 | 3.1067 |

| Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al límite proporcional -σf- (Kgf/cm²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 1017.54 | 950.18 | 82,020.37 | 25.88 |



FORMULAS

$$\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$E_f = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

$$\tau_m = \frac{3P}{4bh}$$

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: NTC 663 | | NTC 663 | | | | | | | | |
| NOVENA COHORTE | | FECHA: 23 de mayo de 2011 | | 23 de mayo de 2011 | | | | | | | | |
| ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE: TECA (TECTONA GRANDIS) | | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | | | | | | |
| ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA: 550 | | 550 | | | | | | | | |
| ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD: 15.10% | | 15.10% | | | | | | | | |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR: 83% | | 83% | | | | | | | | |
| | | TEMPERATURA LUGAR: 14°C | | 14°C | | | | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: EDIFICIO DE SINDU | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBEA | | | | | | |
| | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | 2.5 mm / min. | | CLF - 24 | | | | | | |
| TIPO | | ADHESIVO | | | | | | | | | | |
| ORIGEN | | CODIGO FABRICANTE | | PRESIÓN DE PRENSADO | | | | | | | | |
| | | FORMA | | TIEMPO DE PRENSADO | | | | | | | | |
| | | LIQUIDO | | 10.2 kg/cm2 | | | | | | | | |
| | | | | 24 HORAS | | | | | | | | |
| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -h- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Carga limite proporcional -P- (Kgf) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al limite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -σtr- (kgf/cm²) |
| 1 | 0.80 | 8 | 0.0002 | 3.44 | 3.76 | 69.00 | 396.21 | 380.90 | 844.52 | 811.89 | 72,587.35 | 23.00 |
| 2 | 15.34 | 150 | 0.0885 | | | | | | | | | |
| 3 | 33.22 | 326 | 0.1827 | | | | | | | | | |
| 4 | 52.07 | 510 | 0.2766 | | | | | | | | | |
| 5 | 71.73 | 703 | 0.3704 | | | | | | | | | |
| 6 | 91.99 | 901 | 0.4648 | | | | | | | | | |
| 7 | 112.24 | 1,100 | 0.5597 | | | | | | | | | |
| 8 | 132.83 | 1,302 | 0.6545 | | | | | | | | | |
| 9 | 153.32 | 1,503 | 0.7493 | | | | | | | | | |
| 10 | 174.10 | 1,706 | 0.8442 | | | | | | | | | |
| 11 | 194.59 | 1,907 | 0.9390 | | | | | | | | | |
| 12 | 214.90 | 2,106 | 1.0339 | | | | | | | | | |
| 13 | 234.51 | 2,298 | 1.1287 | | | | | | | | | |
| 14 | 253.41 | 2,483 | 1.2235 | | | | | | | | | |
| 15 | 271.18 | 2,658 | 1.3184 | | | | | | | | | |
| 16 | 287.46 | 2,817 | 1.4132 | | | | | | | | | |
| 17 | 302.43 | 2,964 | 1.5080 | | | | | | | | | |
| 18 | 316.06 | 3,097 | 1.6029 | | | | | | | | | |
| 19 | 328.31 | 3,217 | 1.6977 | | | | | | | | | |
| 20 | 339.21 | 3,324 | 1.7925 | | | | | | | | | |
| 21 | 348.95 | 3,420 | 1.8874 | | | | | | | | | |
| 22 | 357.42 | 3,503 | 1.9822 | | | | | | | | | |
| 23 | 364.80 | 3,575 | 2.0770 | | | | | | | | | |
| 24 | 371.50 | 3,641 | 2.1719 | | | | | | | | | |
| 25 | 377.10 | 3,696 | 2.2666 | | | | | | | | | |
| 26 | 380.90 | 3,733 | 2.3615 | | | | | | | | | |
| 27 | 378.29 | 3,707 | 2.4564 | | | | | | | | | |
| 28 | 380.25 | 3,726 | 2.5512 | | | | | | | | | |
| 29 | 383.85 | 3,762 | 2.6460 | | | | | | | | | |
| 30 | 386.99 | 3,792 | 2.7408 | | | | | | | | | |
| 31 | 390.40 | 3,826 | 2.8357 | | | | | | | | | |
| 32 | 393.81 | 3,859 | 2.9305 | | | | | | | | | |
| 33 | 396.21 | 3,883 | 3.0187 | | | | | | | | | |

GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN

c) Tensión de antillamiento (vista de la superficie de tensión)

GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN

FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBEA

05/23/2011

FORMULAS

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bh^2} \quad Sf = \frac{3P'l}{bh^2}$$

$$Ef = \frac{P'l^3}{4bh^3 \Delta} \quad (3l^2 - 4a^2)$$

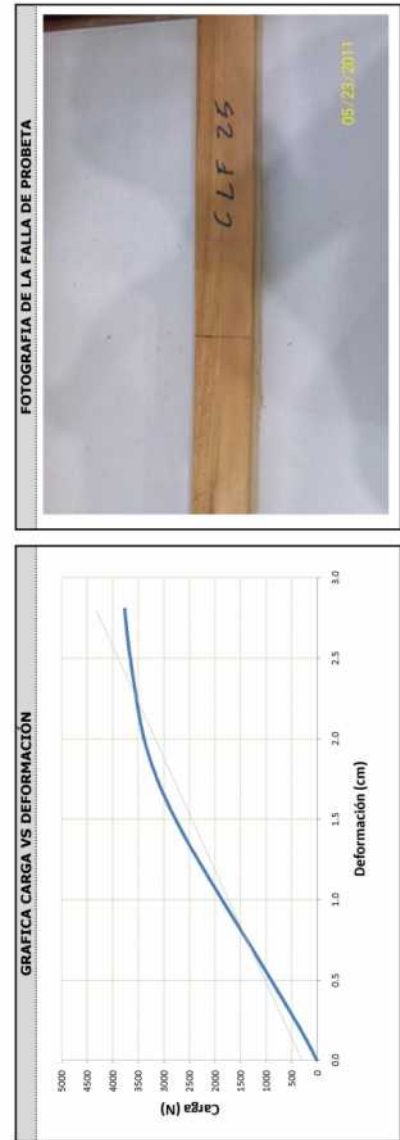
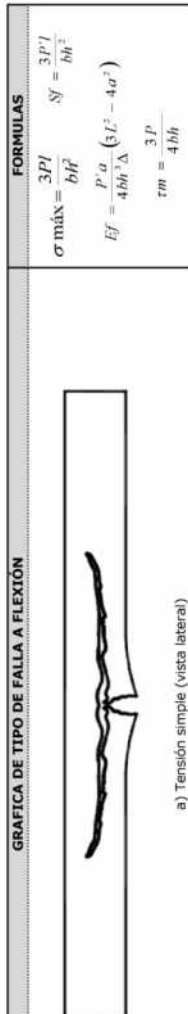
$$\tau_m = \frac{3P}{4bh}$$

| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | ENSAYO | ESQUEMA DE LA PRUEBA |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | NORMA: FECHA: | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN NTC 663 23 de mayo de 2011 |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | ESPECIE DENSIDAD BÁSICA CONTENIDO DE HUMEDAD HUMEDAD RELATIVA LUGAR TEMPERATURA LUGAR | TECA (TECTONA GRANDIS) 550 14.30% 83% 14°C |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | |
| | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | |

| | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO DE SINDU | MAQUINA DE ENSAYO | COMPUTER SERVO CONTROL | NUMERO DE PROBETA |
| | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | 2.5 mm / min. | CLF - 25 |

| | | | |
|--------|-----------|--------------------|-------------|
| TIPO | | ADHESIVO | |
| ORIGEN | MUF | CODIGO FABRICANTE | FORMA |
| | AKZONOBEL | LIQUIDO | |
| | | TIEMPO DE PRENSADO | 10.2 kg/cm2 |
| | | 24 HORAS | |

| Numero de lectura | Carga (kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (kgf) | Carga rotura -P- (kgf) | Carga limite proporcional -P- (kgf) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al límite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0.75 | 7 | 0.0002 | 3.86 | 3.65 | 69.00 | 384.56 | 358.07 | 775.11 | 721.72 | 71,919.17 | 20.49 | |
| 2 | 13.85 | 136 | 0.0813 | | | | | | | | | | |
| 3 | 28.96 | 284 | 0.1686 | | | | | | | | | | |
| 4 | 45.06 | 442 | 0.2554 | | | | | | | | | | |
| 5 | 61.71 | 605 | 0.3421 | | | | | | | | | | |
| 6 | 78.46 | 769 | 0.4292 | | | | | | | | | | |
| 7 | 95.45 | 935 | 0.5169 | | | | | | | | | | |
| 8 | 112.34 | 1,101 | 0.6046 | | | | | | | | | | |
| 9 | 129.61 | 1,270 | 0.6923 | | | | | | | | | | |
| 10 | 146.87 | 1,439 | 0.7800 | | | | | | | | | | |
| 11 | 164.18 | 1,609 | 0.8677 | | | | | | | | | | |
| 12 | 181.58 | 1,780 | 0.9554 | | | | | | | | | | |
| 13 | 198.80 | 1,948 | 1.0431 | | | | | | | | | | |
| 14 | 216.02 | 2,117 | 1.1307 | | | | | | | | | | |
| 15 | 232.86 | 2,282 | 1.2185 | | | | | | | | | | |
| 16 | 249.38 | 2,444 | 1.3062 | | | | | | | | | | |
| 17 | 265.33 | 2,600 | 1.3939 | | | | | | | | | | |
| 18 | 280.45 | 2,748 | 1.4816 | | | | | | | | | | |
| 19 | 294.58 | 2,887 | 1.5693 | | | | | | | | | | |
| 20 | 307.63 | 3,015 | 1.6570 | | | | | | | | | | |
| 21 | 319.47 | 3,131 | 1.7447 | | | | | | | | | | |
| 22 | 329.99 | 3,234 | 1.8324 | | | | | | | | | | |
| 23 | 339.17 | 3,324 | 1.9201 | | | | | | | | | | |
| 24 | 346.88 | 3,399 | 2.0078 | | | | | | | | | | |
| 25 | 353.07 | 3,460 | 2.0955 | | | | | | | | | | |
| 26 | 358.07 | 3,509 | 2.1832 | | | | | | | | | | |
| 27 | 362.56 | 3,553 | 2.2709 | | | | | | | | | | |
| 28 | 366.96 | 3,596 | 2.3585 | | | | | | | | | | |
| 29 | 371.16 | 3,637 | 2.4463 | | | | | | | | | | |
| 30 | 375.28 | 3,678 | 2.5340 | | | | | | | | | | |
| 31 | 378.94 | 3,714 | 2.6216 | | | | | | | | | | |
| 32 | 381.88 | 3,742 | 2.7094 | | | | | | | | | | |
| 33 | 384.56 | 3,769 | 2.8013 | | | | | | | | | | |



FORMULAS

$$\sigma_{\max} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$E_f = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} (3l^2 - 4a^2)$$

$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | ENSAYO | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA |
|--------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------|--------------------------------|--|----------------------|
| TRABAJO DE GRADO | | NORMA: | ITC 663 | | |
| AUTOR | | FECHA: | 13 de mayo de 2011 | | |
| DIRECTOR | | ESPECIE | TECA (TECTONA GRANDIS) | | |
| | | DENSIDAD BÁSICA | 550 | | |
| | | CONTENIDO DE HUMEDAD | 16.40% | | |
| | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | 83% | | |
| | | TEMPERATURA LUGAR | 14°C | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | MAQUINA DE ENSAYO | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBETA |
| | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | 2.5 mm / min. | | CLF - 26 |
| | | EDIFICIO DE SINDU | | | |
| | | ADHESIVO | | | |
| | | LIQUIDO | | | |
| | | TIEMPO DE PRENSADO | 10.2 kg/cm2 | | |
| | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | 24 HORAS | | |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.80 | 8 | 0.0002 |
| 2 | 15.49 | 152 | 0.0751 |
| 3 | 33.92 | 332 | 0.1560 |
| 4 | 52.77 | 517 | 0.2368 |
| 5 | 71.73 | 703 | 0.3173 |
| 6 | 90.91 | 891 | 0.3978 |
| 7 | 110.51 | 1,083 | 0.4791 |
| 8 | 130.31 | 1,277 | 0.5605 |
| 9 | 150.14 | 1,471 | 0.6419 |
| 10 | 170.17 | 1,668 | 0.7233 |
| 11 | 190.33 | 1,865 | 0.8048 |
| 12 | 210.17 | 2,060 | 0.8861 |
| 13 | 230.20 | 2,256 | 0.9676 |
| 14 | 249.84 | 2,448 | 1.0490 |
| 15 | 268.93 | 2,636 | 1.1303 |
| 16 | 287.56 | 2,818 | 1.2118 |
| 17 | 305.81 | 2,997 | 1.2932 |
| 18 | 323.02 | 3,166 | 1.3746 |
| 19 | 339.44 | 3,327 | 1.4560 |
| 20 | 354.66 | 3,476 | 1.5374 |
| 21 | 369.01 | 3,616 | 1.6188 |
| 22 | 382.26 | 3,746 | 1.7002 |
| 23 | 394.56 | 3,867 | 1.7816 |
| 24 | 405.66 | 3,975 | 1.8630 |
| 25 | 415.76 | 4,074 | 1.9444 |
| 26 | 424.88 | 4,164 | 2.0258 |
| 27 | 433.35 | 4,247 | 2.1072 |
| 28 | 441.35 | 4,325 | 2.1887 |
| 29 | 431.57 | 4,229 | 2.2700 |
| 30 | 439.39 | 4,306 | 2.3514 |
| 31 | 445.89 | 4,370 | 2.4328 |
| 32 | 451.39 | 4,424 | 2.5142 |
| 33 | 455.98 | 4,469 | 2.5902 |

| Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al límite proporcional -σf- (Kgf/cm²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 1022.84 | 990.01 | 99,142.83 | 26.83 |

GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN

a) Tensión simple (vista lateral)

FORMULAS

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

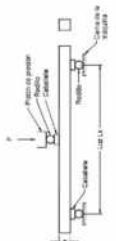
$$E_f = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} \left(3L^2 - 4a^2 \right)$$

$$t_m = \frac{3P}{4bh}$$

GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN

FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA

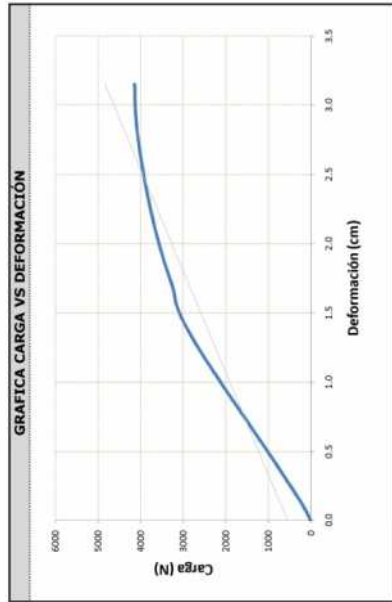
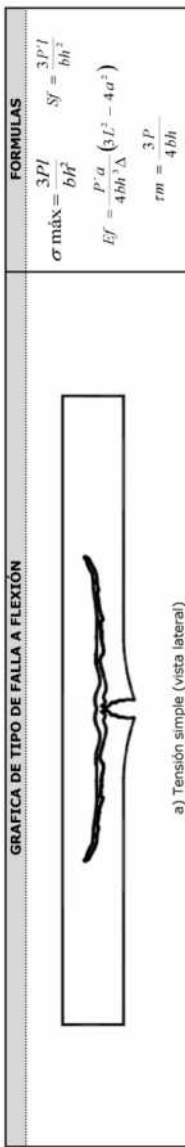
| | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------|--|--------------------------------|--|----------------------|--|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | | NTC 663 | | | |
| | NOVENA COHORTE | | FECHA: | | 23 de mayo de 2011 | | | |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | | TECA (TECTONA GRANDIS) | | | |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | 550 | | | |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | | 12.80% | | | |
| | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | TEMPERATURA LUGAR | | 83% | | | |
| | | | | | 14°C | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO DE SINDU | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBETA | |
| | | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | 2.5 mm / min. | | CLF - 27 | |


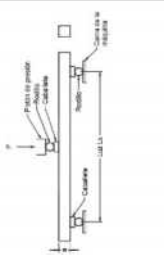


| | | | | | | | |
|----------|--|---------|--|---------------------|--|--------------------|--|
| ADHESIVO | | LIQUIDO | | PRESIÓN DE PRENSADO | | TIEMPO DE PRENSADO | |
| | | | | 10.2 kg/cm2 | | 24 HORAS | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|-------------------------|------|------------------------------|-------|--------------------------------------|--------|---------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------|-----------|----------------------------------|-------|
| Ancho de probeta -b- (cm) | 3.70 | Altura probeta -h- (cm) | 3.51 | Longitud de probeta -L- (cm) | 69.00 | Carga rotura -P _r - (Kgf) | 422.35 | Carga limite proporcional -P _p - (Kgf) | 377.62 | Resistencia máxima a la flexión -σ máx.- (Kgf/cm²) | 959.04 | Esfuerzo al limite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | 857.46 | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | 89,731.32 | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) | 24.40 |
|---------------------------|------|-------------------------|------|------------------------------|-------|--------------------------------------|--------|---------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------|-----------|----------------------------------|-------|

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.70 | 7 | 0.00 |
| 2 | 16.05 | 157 | 0.09 |
| 3 | 36.21 | 355 | 0.19 |
| 4 | 57.22 | 561 | 0.29 |
| 5 | 78.42 | 768 | 0.39 |
| 6 | 100.36 | 984 | 0.48 |
| 7 | 122.49 | 1,200 | 0.58 |
| 8 | 144.53 | 1,416 | 0.68 |
| 9 | 166.80 | 1,635 | 0.78 |
| 10 | 189.16 | 1,854 | 0.88 |
| 11 | 211.25 | 2,070 | 0.98 |
| 12 | 233.15 | 2,285 | 1.08 |
| 13 | 254.39 | 2,493 | 1.17 |
| 14 | 274.83 | 2,693 | 1.27 |
| 15 | 293.83 | 2,880 | 1.37 |
| 16 | 310.71 | 3,045 | 1.47 |
| 17 | 323.07 | 3,166 | 1.57 |
| 18 | 329.44 | 3,228 | 1.67 |
| 19 | 339.96 | 3,332 | 1.77 |
| 20 | 350.73 | 3,437 | 1.86 |
| 21 | 360.60 | 3,534 | 1.96 |
| 22 | 369.53 | 3,621 | 2.06 |
| 23 | 377.62 | 3,701 | 2.16 |
| 24 | 385.21 | 3,775 | 2.26 |
| 25 | 391.99 | 3,842 | 2.36 |
| 26 | 398.17 | 3,902 | 2.46 |
| 27 | 403.92 | 3,958 | 2.55 |
| 28 | 408.97 | 4,008 | 2.65 |
| 29 | 413.71 | 4,054 | 2.75 |
| 30 | 417.54 | 4,092 | 2.85 |
| 31 | 420.01 | 4,116 | 2.95 |
| 32 | 421.56 | 4,131 | 3.05 |
| 33 | 422.35 | 4,139 | 3.15 |




| | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | ENSAYO NORMA: FECHA: | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN NTC 663 23 de mayo de 2011 | | ESQUEMA DE LA PRUEBA  | |
| TRABAJO DE GRADO AUTOR DIRECTOR | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | ESPECIE DENSIDAD BÁSICA CONTENIDO DE HUMEDAD HUMEDAD RELATIVA LUGAR TEMPERATURA LUGAR | | TECA (TECTONA GRANDIS) 550 11.90% 83% 14°C | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | | MAQUINA DE ENSAYO VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | COMPUTER SERVO CONTROL 2.5 mm / min. | | NUMERO DE PROBETA CLF - 28 | |
| TIPO ORIGEN | | CODIGO FABRICANTE FORMA | | LIQUIDO | | PRESIÓN DE PRENSADO TIEMPO DE PRENSADO | | 10.2 kg/cm2 24 HORAS | |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 0.75 | 7 | 0.0002 |
| 2 | 11.23 | 110 | 0.0668 |
| 3 | 25.03 | 245 | 0.1394 |
| 4 | 39.07 | 383 | 0.2119 |
| 5 | 53.29 | 522 | 0.2841 |
| 6 | 67.56 | 662 | 0.3562 |
| 7 | 82.11 | 805 | 0.4288 |
| 8 | 96.90 | 950 | 0.5018 |
| 9 | 111.69 | 1,095 | 0.5748 |
| 10 | 126.38 | 1,238 | 0.6478 |
| 11 | 141.35 | 1,385 | 0.7208 |
| 12 | 156.13 | 1,530 | 0.7938 |
| 13 | 170.92 | 1,675 | 0.8669 |
| 14 | 185.89 | 1,822 | 0.9400 |
| 15 | 200.49 | 1,965 | 1.0129 |
| 16 | 215.04 | 2,107 | 1.0859 |
| 17 | 229.45 | 2,249 | 1.1589 |
| 18 | 243.54 | 2,387 | 1.2319 |
| 19 | 257.24 | 2,521 | 1.3049 |
| 20 | 270.39 | 2,650 | 1.3779 |
| 21 | 282.60 | 2,769 | 1.4509 |
| 22 | 294.15 | 2,883 | 1.5239 |
| 23 | 304.83 | 2,987 | 1.5970 |
| 24 | 314.74 | 3,084 | 1.6700 |
| 25 | 323.69 | 3,172 | 1.7430 |
| 26 | 330.28 | 3,237 | 1.8160 |
| 27 | 337.25 | 3,305 | 1.8890 |
| 28 | 344.12 | 3,372 | 1.9620 |
| 29 | 350.58 | 3,436 | 2.0350 |
| 30 | 356.52 | 3,494 | 2.1081 |
| 31 | 362.09 | 3,549 | 2.1811 |
| 32 | 367.29 | 3,599 | 2.2541 |
| 33 | 371.87 | 3,644 | 2.3221 |

| Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al límite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | Módulo Elástico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 811.17 | 735.66 | 86,489.42 | 21.00 |

GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN



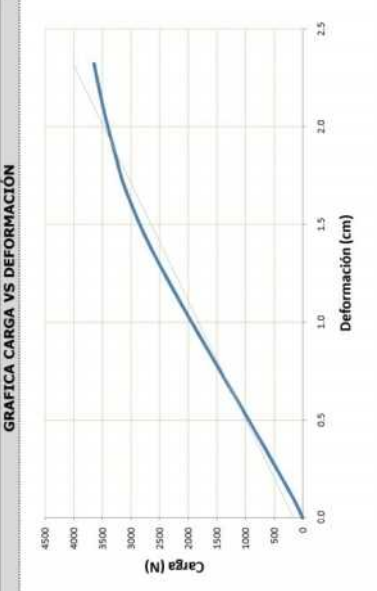
FORMULAS

$$\sigma_{\max} = \frac{3Pl}{bh^2}$$


$$E_f = \frac{P'a}{4bh^3\Delta}$$

$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN



FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA



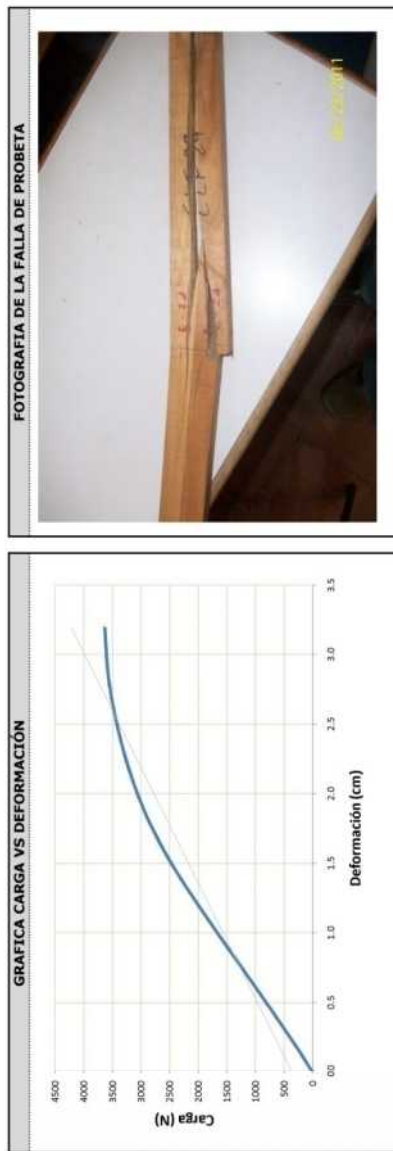
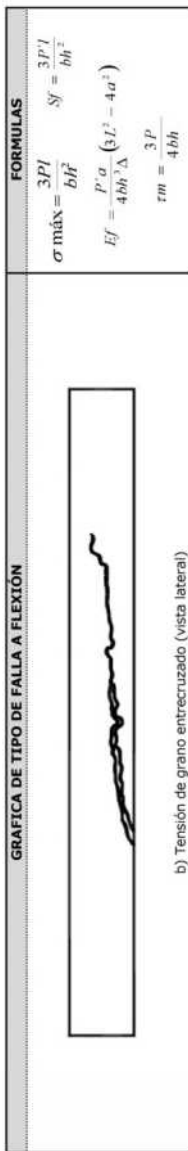
| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | ENSAYO | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | ESQUEMA DE LA PRUEBA |
| | NORMA: | NTC 663 | |
| | FECHA: | 23 de mayo de 2011 | |
| TRABAJO DE GRADO AUTOR DIRECTOR | ESPECIE | TECA (TECTONA GRANDIS) | |
| | DENSIDAD BÁSICA | 550 | |
| | CONTENIDO DE HUMEDAD | 15.70% | |
| | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | 83% | |
| | TEMPERATURA LUGAR | 14°C | |
| | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | |

| | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO DE SINDU | MAQUINA DE ENSAYO | COMPUTER SERVO CONTROL | NUMERO DE PROBETA |
| | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | 2.5 mm / min. | |

| | |
|-------------------|---------------------|
| ADHESIVO | |
| CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO |
| MUF | |
| AKZONOBEL | |
| FORMA | |
| TIPO ORIGEN | |
| | PRESIÓN DE PRENSADO |
| | TIEMPO DE PRENSADO |
| | 10.2 kg/cm2 |
| | 24 HORAS |

CLF - 29

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P- (Kgf) | Carga limite proporcional -p- (Kgf) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al limite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0.75 | 7 | 0.0003 | 3.33 | 3.55 | 69.00 | 371.16 | 342.91 | 914.63 | 845.01 | 79,065.44 | 23.54 |
| 2 | 15.25 | 149 | 0.0934 | | | | | | | | | |
| 3 | 31.49 | 309 | 0.1927 | | | | | | | | | |
| 4 | 47.87 | 469 | 0.2915 | | | | | | | | | |
| 5 | 64.47 | 632 | 0.3903 | | | | | | | | | |
| 6 | 81.79 | 802 | 0.4900 | | | | | | | | | |
| 7 | 99.10 | 971 | 0.5900 | | | | | | | | | |
| 8 | 116.46 | 1,141 | 0.6898 | | | | | | | | | |
| 9 | 133.81 | 1,311 | 0.7897 | | | | | | | | | |
| 10 | 151.31 | 1,483 | 0.8895 | | | | | | | | | |
| 11 | 168.58 | 1,652 | 0.9893 | | | | | | | | | |
| 12 | 185.84 | 1,821 | 1.0892 | | | | | | | | | |
| 13 | 202.88 | 1,988 | 1.1891 | | | | | | | | | |
| 14 | 219.48 | 2,151 | 1.2889 | | | | | | | | | |
| 15 | 235.68 | 2,310 | 1.3888 | | | | | | | | | |
| 16 | 250.88 | 2,459 | 1.4887 | | | | | | | | | |
| 17 | 265.29 | 2,600 | 1.5886 | | | | | | | | | |
| 18 | 278.53 | 2,730 | 1.6884 | | | | | | | | | |
| 19 | 290.74 | 2,849 | 1.7883 | | | | | | | | | |
| 20 | 301.84 | 2,958 | 1.8882 | | | | | | | | | |
| 21 | 311.88 | 3,056 | 1.9880 | | | | | | | | | |
| 22 | 320.93 | 3,145 | 2.0879 | | | | | | | | | |
| 23 | 328.96 | 3,224 | 2.1878 | | | | | | | | | |
| 24 | 336.32 | 3,296 | 2.2876 | | | | | | | | | |
| 25 | 342.91 | 3,361 | 2.3875 | | | | | | | | | |
| 26 | 348.95 | 3,420 | 2.4874 | | | | | | | | | |
| 27 | 354.24 | 3,472 | 2.5873 | | | | | | | | | |
| 28 | 358.91 | 3,517 | 2.6872 | | | | | | | | | |
| 29 | 363.03 | 3,558 | 2.7870 | | | | | | | | | |
| 30 | 366.06 | 3,587 | 2.8868 | | | | | | | | | |
| 31 | 368.04 | 3,607 | 2.9867 | | | | | | | | | |
| 32 | 369.40 | 3,620 | 3.0866 | | | | | | | | | |
| 33 | 371.16 | 3,637 | 3.1886 | | | | | | | | | |


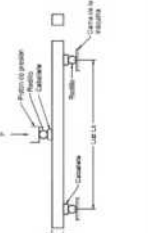


FORMULAS

$$\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$Ef = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} (3l^2 - 4a^2)$$

$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | ESQUEMA DE LA PRUEBA |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: NTC 663 | | |
| | NOVENA COHORTE | | FECHA: 23 de mayo de 2011 | | |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | | |  |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | | | |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | | | |
| | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | | | |


| | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | EDIFICIO DE SINDU | MAQUINA DE ENSAYO | COMPUTER SERVO CONTROL | NUMERO DE PROBETA |
| | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | 2.5 mm / min. | |

CLF - 30

ADHESIVO

| TIPO ORIGEN | MUF AKZONOBEL | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO | | PRESIÓN DE PRENSADO | TIEMPO DE PRENSADO |
|-------------|---------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|
| | | | ANCHO DE PROBETA (cm) | LONGITUD DE PROBETA (cm) | | |
| 1 | 0.80 | 8 | 3.69 | 69.00 | 10.2 kg/cm2 | 24 HORAS |
| 2 | 14.41 | 141 | | | | |
| 3 | 31.49 | 309 | | | | |
| 4 | 48.89 | 479 | | | | |
| 5 | 66.63 | 653 | | | | |
| 6 | 84.64 | 829 | | | | |
| 7 | 103.17 | 1,011 | | | | |
| 8 | 121.79 | 1,194 | | | | |
| 9 | 140.32 | 1,375 | | | | |
| 10 | 158.89 | 1,557 | | | | |
| 11 | 177.28 | 1,737 | | | | |
| 12 | 195.76 | 1,918 | | | | |
| 13 | 213.87 | 2,096 | | | | |
| 14 | 231.83 | 2,272 | | | | |
| 15 | 249.38 | 2,444 | | | | |
| 16 | 266.55 | 2,612 | | | | |
| 17 | 282.92 | 2,773 | | | | |
| 18 | 298.74 | 2,928 | | | | |
| 19 | 313.66 | 3,074 | | | | |
| 20 | 327.75 | 3,212 | | | | |
| 21 | 340.94 | 3,341 | | | | |
| 22 | 353.20 | 3,461 | | | | |
| 23 | 364.38 | 3,571 | | | | |
| 24 | 374.82 | 3,673 | | | | |
| 25 | 384.23 | 3,765 | | | | |
| 26 | 392.69 | 3,848 | | | | |
| 27 | 400.04 | 3,920 | | | | |
| 28 | 405.75 | 3,976 | | | | |
| 29 | 408.09 | 3,999 | | | | |
| 30 | 407.71 | 3,996 | | | | |
| 31 | 407.25 | 3,991 | | | | |
| 32 | 408.17 | 4,000 | | | | |
| 33 | 409.35 | 4,012 | | | | |

GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN



a) Tensión simple (vista lateral)

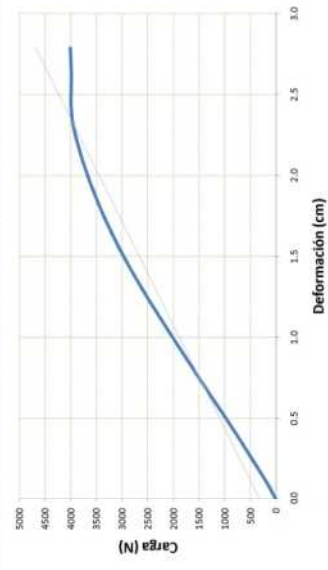
FORMULAS

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bh^2}$$


$$E_f = \frac{P \cdot a}{4bh \cdot \Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

$$E_m = \frac{3P}{4bh}$$

GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN



FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA




| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | CORTE LONGITUDINAL POR FLEXIÓN | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------------------------|--------|--------------------------------|--|---------------------------------------------------|--|
| MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: NTC 663 | | NTC 663 | | | |
| NOVENA COHORTE | | FECHA: 23 de mayo de 2011 | | 23 de mayo de 2011 | | | |
| ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL (TECNA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE: TECA (TECTOMA GRANDIS) | | TECA (TECTOMA GRANDIS) | | | |
| ARQ. JOSE SEDIEL BARRIETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA: 550 | | 550 | | | |
| ARQ. JORGE ENRIQUE LOZAN PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD: 15-60% | | 15-60% | | | |
| OBJETIVO ESPECÍFICO NUMERO 2 | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR: 83% | | 83% | | | |
| | | TEMPERATURA LUGAR: 14°C | | 14°C | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBETA | |
| | | EDIFICIO DE SINDU | | 2.5 mm / min. | | CLF - 31 | |
| TIPO ORIGEN | | ADHESIVO | | PRESIÓN DE PRENSADO | | 10.2 kg/cm2 | |
| MUF AKZONOBEL | | LIQUIDO | | TIEMPO DE PRENSADO | | 24 HORAS | |
| FORMA | | Ancho de probeta (cm) | | Longitud de probeta (cm) | | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | |
| Carga (Kgf) | | 3.83 | | 69.00 | | 985.58 | |
| Carga (Newton) | | 37.77 | | 673.39 | | 880.67 | |
| Deformación (cm) | | 3.77 | | 518.59 | | 84,753.46 | |
| Carga (Kgf) | | 463.39 | | 518.59 | | 84,753.46 | |
| Deformación (cm) | | 2.1861 | | 518.59 | | 84,753.46 | |
| Carga (Kgf) | | 518.59 | | 518.59 | | 84,753.46 | |
| Deformación (cm) | | 2.9134 | | 518.59 | | 84,753.46 | |
| 1 | 0.75 | 7 | 0.0002 | | | | |
| 2 | 19.61 | 192 | 0.0851 | | | | |
| 3 | 41.73 | 409 | 0.1761 | | | | |
| 4 | 64.94 | 636 | 0.2666 | | | | |
| 5 | 88.43 | 867 | 0.3570 | | | | |
| 6 | 112.15 | 1,099 | 0.4480 | | | | |
| 7 | 136.25 | 1,335 | 0.5395 | | | | |
| 8 | 160.67 | 1,575 | 0.6310 | | | | |
| 9 | 185.28 | 1,816 | 0.7225 | | | | |
| 10 | 209.89 | 2,057 | 0.8140 | | | | |
| 11 | 234.32 | 2,296 | 0.9054 | | | | |
| 12 | 258.87 | 2,537 | 0.9969 | | | | |
| 13 | 282.83 | 2,772 | 1.0884 | | | | |
| 14 | 306.19 | 3,001 | 1.1799 | | | | |
| 15 | 328.21 | 3,216 | 1.2713 | | | | |
| 16 | 348.95 | 3,420 | 1.3628 | | | | |
| 17 | 368.23 | 3,609 | 1.4543 | | | | |
| 18 | 385.67 | 3,780 | 1.5458 | | | | |
| 19 | 401.35 | 3,933 | 1.6373 | | | | |
| 20 | 415.20 | 4,069 | 1.7287 | | | | |
| 21 | 426.99 | 4,184 | 1.8202 | | | | |
| 22 | 437.15 | 4,284 | 1.9117 | | | | |
| 23 | 445.98 | 4,371 | 2.0032 | | | | |
| 24 | 454.93 | 4,458 | 2.0946 | | | | |
| 25 | 463.39 | 4,541 | 2.1861 | | | | |
| 26 | 471.72 | 4,623 | 2.2776 | | | | |
| 27 | 479.44 | 4,698 | 2.3691 | | | | |
| 28 | 486.81 | 4,771 | 2.4606 | | | | |
| 29 | 494.09 | 4,842 | 2.5520 | | | | |
| 30 | 500.92 | 4,909 | 2.6435 | | | | |
| 31 | 507.51 | 4,974 | 2.7350 | | | | |
| 32 | 513.50 | 5,032 | 2.8265 | | | | |
| 33 | 518.59 | 5,082 | 2.9134 | | | | |

| GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN | | | |
|--------------------------------------------------|--|--|--|
| | | | |
| b) Tensión de grano entrecruzado (vista lateral) | | | |

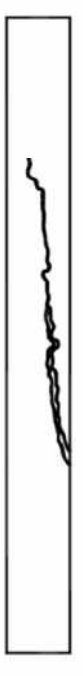
| GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN | |
|------------------------------|--|
| | |

| FORMULAS | |
|-----------------------------------------|-------------------------|
| $\sigma \text{ máx} = \frac{3Pl}{bh^2}$ | $Sf = \frac{3Pl}{bh^2}$ |
| $Ef = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta}$ | $(3L^2 - 4a^2)$ |
| $rm = \frac{3P}{4bh}$ | |

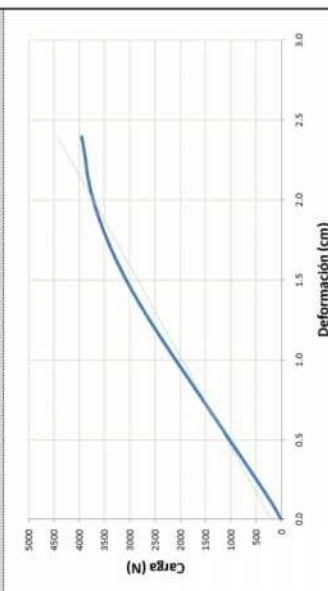
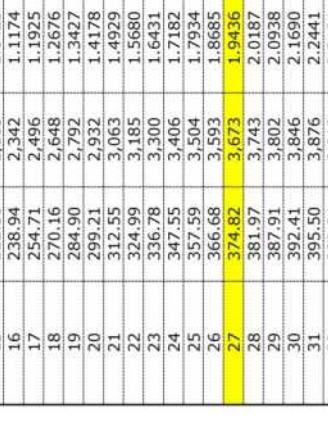
| FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA | |
|-----------------------------------|--|
| | |

| | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------|--|
|  | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | |
| | | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: | | VTC 663 | |
| | | NOVENA COHORTE | | FECHA: | | 23 de mayo de 2011 | |
| TRABAJO DE GRADO | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE | | TECA (TECTONA GRANDIS) | |
| AUTOR | | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA | | 550 | |
| DIRECTOR | | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | CONTENIDO DE HUMEDAD | | 16.40% | |
| | | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR | | 83% | |
| | | EDIFICIO DE SINDU | | TEMPERATURA LUGAR | | 14°C | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | ADHESIVO | | MAQUINA DE ENSAYO | | COMPUTER SERVO CONTROL | |
| | | LIQUIDO | | VELOCIDAD DE LA MAQUINA | | 2.5 mm / min. | |
| TIPO | | CODIGO FABRICANTE | | PRESIÓN DE PRENSADO | | 10.2 kg/cm2 | |
| ORIGEN | | FORMA | | TIEMPO DE PRENSAO | | 24 HORAS | |
| MUF | | AKZONOBEL | | Carga limite proporcional -P _{0.2} (kgf) | | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (kgf/cm ²) | |
| | | | | 3.86 | | 842.94 | |
| | | | | Altura probeta -h ₀ (cm) | | Esfuerzo al limite proporcional -Sf- (kgf/cm ²) | |
| | | | | 3.58 | | 782.93 | |
| | | | | Longitud de probeta -L- (cm) | | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm ²) | |
| | | | | 69.00 | | 89,270.35 | |
| | | | | Carga rotura -P _r (kgf) | | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm ²) | |
| | | | | 403.55 | | 21.87 | |
| | | | | Carga rotura proporcional -P _{0.2} (kgf) | | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm ²) | |
| | | | | 374.82 | | 21.87 | |


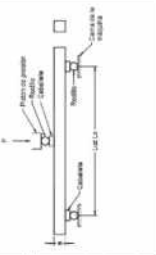
| | | | |
|-----------------|--|-------------------|--|
| CLF - 32 | | NUMERO DE PROBETA | |
| | | CLF - 32 | |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| GRAFICA DE TIPO DE FALLA A FLEXIÓN | |
|  | <p>b) Tensión de grano entrecruzado (vista lateral)</p> |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| FORMULAS | |
| $\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bh^2}$ $E_f = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} (3L^2 - 4a^2)$ $tm = \frac{3P}{4bh}$ | $Sf = \frac{3P \cdot l}{bh^2}$ |

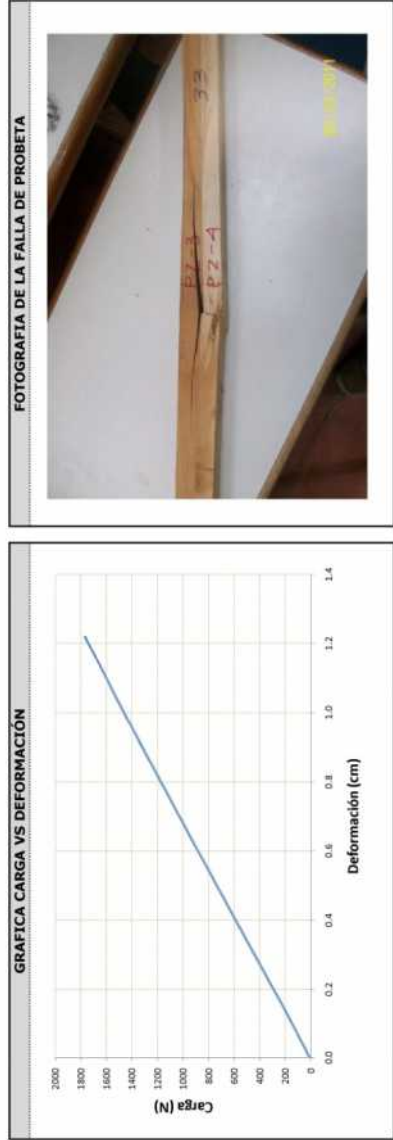
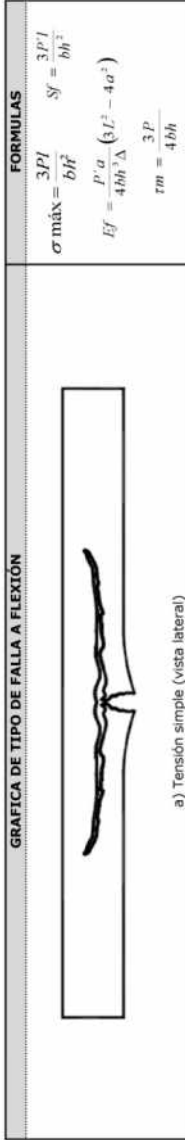
| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GRAFICA CARGA VS DEFORMACION | |
|  | FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA  |

| | | | |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
| 1 | 0.75 | 7 | 0.0002 |
| 2 | 12.58 | 123 | 0.0688 |
| 3 | 27.51 | 270 | 0.1436 |
| 4 | 43.37 | 425 | 0.2181 |
| 5 | 59.65 | 585 | 0.2923 |
| 6 | 75.85 | 743 | 0.3666 |
| 7 | 92.22 | 904 | 0.4413 |
| 8 | 108.69 | 1,065 | 0.5164 |
| 9 | 124.74 | 1,222 | 0.5916 |
| 10 | 141.20 | 1,384 | 0.6667 |
| 11 | 157.35 | 1,542 | 0.7418 |
| 12 | 173.82 | 1,703 | 0.8169 |
| 13 | 190.14 | 1,863 | 0.8920 |
| 14 | 206.52 | 2,024 | 0.9671 |
| 15 | 222.80 | 2,183 | 1.0423 |
| 16 | 238.94 | 2,342 | 1.1174 |
| 17 | 254.71 | 2,496 | 1.1925 |
| 18 | 270.16 | 2,648 | 1.2676 |
| 19 | 284.90 | 2,792 | 1.3427 |
| 20 | 299.21 | 2,932 | 1.4178 |
| 21 | 312.55 | 3,063 | 1.4929 |
| 22 | 324.99 | 3,185 | 1.5680 |
| 23 | 336.78 | 3,300 | 1.6431 |
| 24 | 347.55 | 3,406 | 1.7182 |
| 25 | 357.59 | 3,504 | 1.7934 |
| 26 | 366.68 | 3,593 | 1.8685 |
| 27 | 374.82 | 3,673 | 1.9436 |
| 28 | 381.97 | 3,743 | 2.0187 |
| 29 | 387.91 | 3,802 | 2.0938 |
| 30 | 392.41 | 3,846 | 2.1690 |
| 31 | 395.50 | 3,876 | 2.2441 |
| 32 | 399.24 | 3,913 | 2.3191 |
| 33 | 403.55 | 3,955 | 2.3939 |

| | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | | ENSAYO | | ESQUEMA DE LA PRUEBA | |
| | MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN | | NORMA: NTC 663 | |  | |
| NOVENA COHORTE | | FECHA: 23 de mayo de 2011 | | | | |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | | | FECA (TECTONA GRANDIS) | |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | | | DENSIDAD BÁSICA 550 | |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | | | CONTENIDO DE HUMEDAD 11.36% | |
| | OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 2 | | | | HUMEDAD RELATIVA LUGAR 83% | |
| | | | | | TEMPERATURA LUGAR 14°C | |

| | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-------------------|---------|------------------------|-------------|-------------------|--|
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | EDIFICIO DE SINDU | | COMPUTER SERVO CONTROL | | NUMERO DE PROBETA | |
| | | | | 2.5 mm / min. | | CLF - 33 | |
| ADHESIVO | | | | | | | |
| TIPO | MUF | CODIGO FABRICANTE | LIQUIDO | PRESIÓN DE PRENSADO | 10.2 kg/cm2 | 24 HORAS | |
| ORIGEN | AKZONOBEL | FORMA | | | | | |

| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | Ancho de probeta -b- (cm) | Altura probeta -h- (cm) | Longitud de probeta -L- (cm) | Carga rotura -P _r - (Kgf) | Carga limite proporcional -P _l - (Kgf) | Resistencia máxima a la flexión -σ máx- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al limite proporcional -Sf- (Kgf/cm²) | Módulo Elastico aparente -Ef- (Kgf/cm²) | Esfuerzo al corte -tm- (Kgf/cm²) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0.84 | 8 | 0.0002 | 3.56 | 3.58 | 69.00 | 180.46 | 157.87 | 410.70 | 359.28 | 75,241.85 | 10.64 |
| 2 | 5.15 | 50 | 0.0322 | | | | | | | | | |
| 3 | 10.71 | 105 | 0.0701 | | | | | | | | | |
| 4 | 16.23 | 159 | 0.1080 | | | | | | | | | |
| 5 | 21.75 | 213 | 0.1460 | | | | | | | | | |
| 6 | 27.51 | 270 | 0.1840 | | | | | | | | | |
| 7 | 33.22 | 326 | 0.2219 | | | | | | | | | |
| 8 | 38.83 | 381 | 0.2596 | | | | | | | | | |
| 9 | 44.59 | 437 | 0.2973 | | | | | | | | | |
| 10 | 50.35 | 493 | 0.3351 | | | | | | | | | |
| 11 | 55.96 | 548 | 0.3728 | | | | | | | | | |
| 12 | 61.71 | 605 | 0.4107 | | | | | | | | | |
| 13 | 67.42 | 661 | 0.4489 | | | | | | | | | |
| 14 | 73.22 | 718 | 0.4871 | | | | | | | | | |
| 15 | 78.84 | 773 | 0.5253 | | | | | | | | | |
| 16 | 84.60 | 829 | 0.5634 | | | | | | | | | |
| 17 | 90.30 | 885 | 0.6016 | | | | | | | | | |
| 18 | 96.01 | 941 | 0.6398 | | | | | | | | | |
| 19 | 101.72 | 997 | 0.6780 | | | | | | | | | |
| 20 | 107.33 | 1,052 | 0.7162 | | | | | | | | | |
| 21 | 112.94 | 1,107 | 0.7544 | | | | | | | | | |
| 22 | 118.65 | 1,163 | 0.7926 | | | | | | | | | |
| 23 | 124.22 | 1,217 | 0.8308 | | | | | | | | | |
| 24 | 130.02 | 1,274 | 0.8689 | | | | | | | | | |
| 25 | 135.68 | 1,330 | 0.9072 | | | | | | | | | |
| 26 | 141.07 | 1,382 | 0.9453 | | | | | | | | | |
| 27 | 146.77 | 1,438 | 0.9835 | | | | | | | | | |
| 28 | 152.34 | 1,493 | 1.0217 | | | | | | | | | |
| 29 | 157.87 | 1,547 | 1.0598 | | | | | | | | | |
| 30 | 163.29 | 1,600 | 1.0981 | | | | | | | | | |
| 31 | 168.67 | 1,653 | 1.1362 | | | | | | | | | |
| 32 | 174.19 | 1,707 | 1.1744 | | | | | | | | | |
| 33 | 180.46 | 1,769 | 1.2189 | | | | | | | | | |




FORMULAS

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{3Pl}{bh^2} \quad Sf = \frac{3P_l}{bh^2}$$

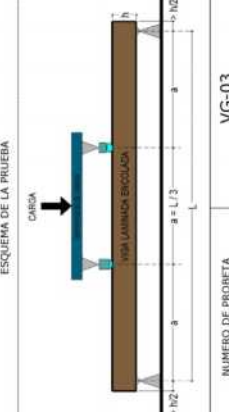
$$Ef = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} (3l^2 - 4a^2)$$

$$tm = \frac{3P}{4bh}$$

D. Anexo: Informe de ensayo de flexión de vigas de tamaño estructural.

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | ENSAYO FLEXIÓN |
| | NORMA: MTC 5279 | FECHA: 30/11/2012 | ESPECIE TECA (TECTONA GRANDIS) |
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL, TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | DENSIDAD BÁSICA 550 kg/cm ³ |
| AUTOR | ARQ. JOSE SEDEL BARRETO CASTAÑEDA | | CONTENIDO DE HUMEDAD 18% |
| DIRECTOR | ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | HUMEDAD RELATIVA 30% |
| OBJETIVO ESPECÍFICO NUMERO 4 | | | TEMPERATURA LUGAR 20°C |
| LUGAR DE LA PRUEBA: LABORATORIO DEL IIE | MAQUINA DE PRESIÓN DE BOMBEO MANUAL Y MEDIDOR DE PRESIÓN | | MAQUINA DE ENSAYO |
| ADHESIVO | | | |
| TIPO MELAMINA UREA FORMALHEIDO | CODIGO FABRICANTE MUF 1242 / 2542 | FORMA LIQUIDO | DISTANCIA ENTRE LA REACCIÓN AL PUNTO DE CARGA MAS CERCANO -a- (cm) 90 |
| ORIGEN AKZO NOBEL (HOLANDA) | TIEMPO DE PRENSADO 17 HORAS | HUMEDAD DE FRAGUADO 77% | LONGITUD DE PRUEBA -L- (cm) 270 |
| PRESIÓN DE PRENSADO 100 kg/cm ² | TIEMPO DE FRAGUADO 7 DIAS | TEMPERATURA DE FRAGUADO 13°C | |
| Numero de lectura | Carga (kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
| 1 | 81 | 797 | 0.123 |
| 2 | 102 | 996 | 0.144 |
| 3 | 122 | 1.195 | 0.176 |
| 4 | 142 | 1.394 | 0.208 |
| 5 | 163 | 1.593 | 0.251 |
| 6 | 183 | 1.792 | 0.267 |
| 7 | 203 | 1.991 | 0.304 |
| 8 | 224 | 2.191 | 0.335 |
| 9 | 244 | 2.390 | 0.363 |
| 10 | 264 | 2.589 | 0.408 |
| 11 | 285 | 2.788 | 0.428 |
| 12 | 305 | 2.987 | 0.474 |
| 13 | 325 | 3.186 | 0.497 |
| 14 | 345 | 3.386 | 0.523 |
| 15 | 365 | 3.585 | 0.557 |
| 16 | 386 | 3.784 | 0.580 |
| 17 | 406 | 3.983 | 0.622 |
| 18 | 427 | 4.182 | 0.663 |
| 19 | 447 | 4.381 | 0.686 |
| 20 | 467 | 4.580 | 0.748 |
| 21 | 488 | 4.780 | 0.753 |
| 22 | 508 | 4.979 | 0.800 |
| 23 | 528 | 5.178 | 0.824 |
| 24 | 549 | 5.377 | 0.860 |
| 25 | 569 | 5.576 | 0.887 |
| 26 | 589 | 5.775 | 0.911 |
| 27 | 610 | 5.974 | 0.962 |
| 28 | 630 | 6.174 | 0.971 |
| 29 | 650 | 6.373 | 0.995 |
| 30 | 671 | 6.572 | 1.032 |
| 31 | 691 | 6.771 | 1.063 |
| 32 | 711 | 6.970 | 1.106 |
| 33 | 732 | 7.169 | 1.157 |

ESQUEMA DE LA PRUEBA



NUMERO DE PRUEBA
VG-03

FORMULAS

$$S_r = \frac{3PI}{bh^2}$$


$$E_f = \frac{P \cdot a}{4bh^3 \Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

$$\tau_m = \frac{3P}{4bh}$$

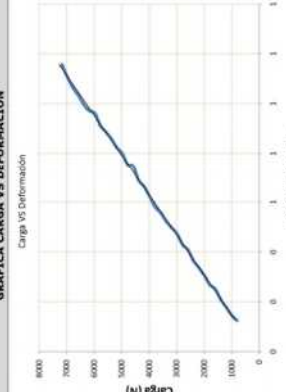
| | | | | | | | |
|--------------------|---------|--------------------------------------------|--------|------------------------------|------|-------------------------------------------------|------|
| Carga rotura (Kgf) | 1907.15 | Carga en el limite proporcional -Pp- (Kgf) | 690.92 | Deformación max -Δ máx- (cm) | 1.16 | Deformación en el limite proporcional -Δp- (cm) | 1.06 |
|--------------------|---------|--------------------------------------------|--------|------------------------------|------|-------------------------------------------------|------|

| | | | | | |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| Modulo elastico aparente -Ef- | (kgf/cm ²) | (N/mm ²) | Esfuerzo de corte -τm- | (kgf/cm ²) | (N/mm ²) |
| 130,108 | 12,751 | 16,73 | 1.64 | | |

FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PRUEBA



GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN



| | | | | | | | |
|---------------------------|-----|---------------------|----|--------------------------------------------------------------------|----|------------------------------|-----|
| Ancho de probeta -b- (cm) | 5.7 | Altura probeta (cm) | 15 | Distancia entre la reacción al punto de carga mas cercano -a- (cm) | 90 | Longitud de probeta -L- (cm) | 270 |
|---------------------------|-----|---------------------|----|--------------------------------------------------------------------|----|------------------------------|-----|

| | | |
|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Modulo de rotura -Sr- | (kgf/cm ²) | (N/mm ²) |
| 436.37 | 42.76 | |

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | ENSAYO PLEXIÓN |
| TRABAJO DE GRADO | | NORMA: NTC-5279 |
| AUTOR | | FECHA: |
| DIRECTOR | | ESPECIE TECA (TECTONA GRANDIS) |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 4 | | DENSIDAD 550 kg/cm2 |
| LUGAR DE LA PRUEBA: LABORATORIO DEL IIE | | CONTENIDO DE HUMEDAD 18% |
| TIPO MELAMINA UREA FORMALHEIDO | | HUMEDAD RENTADA 30% |
| ORIGEN AKZO NOBEL (HOLANDA) | | TEMPERATURA LUGAR 20°C |
| PREXIÓN DE PRENSADO 100 kg/cm2 | | MAQUINA DE PRESIÓN DE BOMBEO MANUAL Y MEDIDOR DE PRESIÓN |
| TIEMPO DE FRAGUADO 7 DIAS | | ADHESIVO CODIGO FABRICANTE HUF 1242 / 2542 |
| | | FORMA LIQUIDO |
| | | TIEMPO DE PREBADO 17 HORAS |
| | | TEMPERATURA DE FRAGUADO 13°C |

| | | |
|-------------|----------------|------------------|
| Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
| 1 | 20 | 0.0762 |
| 2 | 41 | 0.1421 |
| 3 | 61 | 0.1511 |
| 4 | 81 | 0.1635 |
| 5 | 102 | 0.1868 |
| 6 | 122 | 0.2362 |
| 7 | 142 | 0.2657 |
| 8 | 163 | 0.3373 |
| 9 | 183 | 0.3514 |
| 10 | 203 | 0.3893 |
| 11 | 224 | 0.4076 |
| 12 | 244 | 0.4429 |
| 13 | 264 | 0.4423 |
| 14 | 285 | 0.5010 |
| 15 | 305 | 0.5202 |
| 16 | 325 | 0.5705 |
| 17 | 345 | 0.6066 |
| 18 | 366 | 0.6258 |
| 19 | 386 | 0.6684 |
| 20 | 406 | 0.7096 |
| 21 | 427 | 0.7644 |
| 22 | 447 | 0.7846 |
| 23 | 467 | 0.8082 |
| 24 | 488 | 0.8626 |
| 25 | 508 | 0.8843 |
| 26 | 528 | 0.9405 |
| 27 | 549 | 0.9604 |
| 28 | 569 | 0.9722 |
| 29 | 589 | 0.9963 |
| 30 | 610 | 1.0224 |
| 31 | 630 | 1.0337 |
| 32 | 0 | 0 |
| 33 | 0 | 0 |

| | | | |
|-----------------------|---------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|
| Ancho de probeta (cm) | Altura probeta (cm) | Distancia entre la reacción al probeta mas cercano (cm) | Longitud de probeta (cm) |
| 5.6 | 14.6 | 90 | 270 |

| | |
|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| Modulo de rotura (kgf/cm ²) | Modulo de rotura (N/mm ²) |
| 399.89 | 39.19 |

| | | | |
|--------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|
| Carga rotura (Kgf) | Carga en el limite proporcional (Kgf) | Deformación max -A máx- (cm) | Deformación en el limite proporcional -a- (cm) |
| 1,222.32 | 589.32 | 1.03 | 1.00 |

| | | | |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|
| Modulo elastico aparente (kgf/cm ²) | Modulo elastico aparente (N/mm ²) | Esfuerzo de corte (kgf/cm ²) | Esfuerzo de corte (N/mm ²) |
| 137,121 | 13,438 | 11.21 | 1.10 |

ESQUEMA DE LA PRUEBA

NÚMERO DE PROBETA **VG-04**

FORMULAS


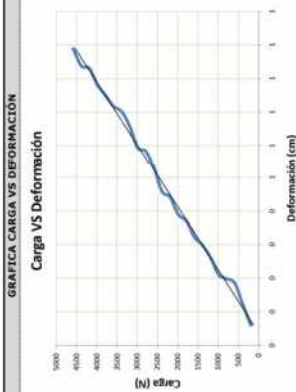

$$S_r = \frac{3PI}{bh^2}$$


$$E_f = \frac{P \cdot a}{4bh \cdot \Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

$$\tau_m = \frac{3P}{4bh}$$

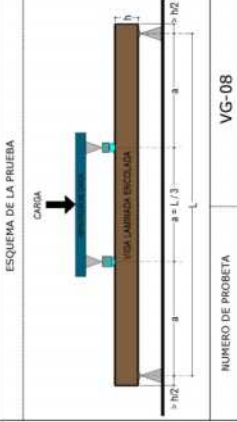
FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA

GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN

|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCION NOVENA COHORTE | ERSAYO FLEXIÓN NTC 5279 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------|-------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|--------|---|----|-----|--------|---|----|-----|--------|---|-----|-----|--------|---|-----|------|--------|---|-----|------|--------|---|-----|------|--------|---|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|-----|------|--------|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| TRABAJO DE GRADO | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL, TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL. | ESPECIE DENSIDAD DUREZA MÓDULO DE ELASTICIDAD HUMEDAD RELATIVA TEMPERATURA LUGAR | TECA (TECTONA GRANDIS) 550 kg/cm ³ 18% 36% 20°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AUTOR DIRECTOR | ARQ. JOSE SIEDIEL BARRETO CASTAÑEDA ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | HUMEDAD DE PRENSADO TIEMPO DE PRENSADO HUMEDAD DE FRAGUADO | 18% 36% 77% 17 HORAS 13°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | LABORATORIO DEL ICI | MAQUINA DE PRESION DE BOMBEO MANUAL Y MEDIDOR DE PRESION | FORMULAS $S_r = \frac{3Pl}{bh^2}$ $E_f = \frac{P'a}{4bh^3} (3L^2 - 4a^2)$ $\tau_m = \frac{3P}{4bh}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO | ADHESIVO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ORIGEN | MELAMINA UREA FORMALHEIDO AKZO NOBEL (HOLANDA) | CODIGO FABRICANTE FORMA | MUF 242 / 2542 LIQUIDO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PRESION DE PRENSADO TIEMPO DE FRAGUADO | 100 kg/cm ² 7 DIAS | TEMPERATURA DE FRAGUADO | 13°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Numero de lectura</th> <th>Carga (kgf)</th> <th>Carga (Newton)</th> <th>Deformación (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>20</td><td>199</td><td>0.0505</td></tr> <tr><td>2</td><td>41</td><td>398</td><td>0.1224</td></tr> <tr><td>3</td><td>61</td><td>597</td><td>0.1858</td></tr> <tr><td>4</td><td>81</td><td>797</td><td>0.1986</td></tr> <tr><td>5</td><td>102</td><td>996</td><td>0.2105</td></tr> <tr><td>6</td><td>142</td><td>1395</td><td>0.2507</td></tr> <tr><td>7</td><td>162</td><td>1594</td><td>0.2582</td></tr> <tr><td>8</td><td>183</td><td>1793</td><td>0.2709</td></tr> <tr><td>9</td><td>203</td><td>1991</td><td>0.2859</td></tr> <tr><td>10</td><td>224</td><td>2191</td><td>0.4416</td></tr> <tr><td>11</td><td>244</td><td>2390</td><td>0.4581</td></tr> <tr><td>12</td><td>264</td><td>2589</td><td>0.5309</td></tr> <tr><td>13</td><td>285</td><td>2788</td><td>0.5834</td></tr> <tr><td>14</td><td>305</td><td>2987</td><td>0.5932</td></tr> <tr><td>15</td><td>325</td><td>3186</td><td>0.6584</td></tr> <tr><td>16</td><td>345</td><td>3385</td><td>0.7020</td></tr> <tr><td>17</td><td>366</td><td>3585</td><td>0.7178</td></tr> <tr><td>18</td><td>386</td><td>3784</td><td>0.7503</td></tr> <tr><td>19</td><td>406</td><td>3983</td><td>0.7814</td></tr> <tr><td>20</td><td>427</td><td>4182</td><td>0.8307</td></tr> <tr><td>21</td><td>447</td><td>4381</td><td>0.8383</td></tr> <tr><td>22</td><td>467</td><td>4580</td><td>0.8894</td></tr> <tr><td>23</td><td>467</td><td>4580</td><td>0.8894</td></tr> <tr><td>24</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>25</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>26</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>27</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>28</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>29</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>30</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>31</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>33</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> | Numero de lectura | Carga (kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | 1 | 20 | 199 | 0.0505 | 2 | 41 | 398 | 0.1224 | 3 | 61 | 597 | 0.1858 | 4 | 81 | 797 | 0.1986 | 5 | 102 | 996 | 0.2105 | 6 | 142 | 1395 | 0.2507 | 7 | 162 | 1594 | 0.2582 | 8 | 183 | 1793 | 0.2709 | 9 | 203 | 1991 | 0.2859 | 10 | 224 | 2191 | 0.4416 | 11 | 244 | 2390 | 0.4581 | 12 | 264 | 2589 | 0.5309 | 13 | 285 | 2788 | 0.5834 | 14 | 305 | 2987 | 0.5932 | 15 | 325 | 3186 | 0.6584 | 16 | 345 | 3385 | 0.7020 | 17 | 366 | 3585 | 0.7178 | 18 | 386 | 3784 | 0.7503 | 19 | 406 | 3983 | 0.7814 | 20 | 427 | 4182 | 0.8307 | 21 | 447 | 4381 | 0.8383 | 22 | 467 | 4580 | 0.8894 | 23 | 467 | 4580 | 0.8894 | 24 | 0 | 0 | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 | 26 | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 | 0 | 0 | 29 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 | 31 | 0 | 0 | 0 | 32 | 0 | 0 | 0 | 33 | 0 | 0 | 0 | Ancho de probeta Altura probeta Distancia entre la sección al punto de carga mas cercano | Longitud de probeta Temperatura de fraguado |
| Numero de lectura | Carga (kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 20 | 199 | 0.0505 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 41 | 398 | 0.1224 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 61 | 597 | 0.1858 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 81 | 797 | 0.1986 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 102 | 996 | 0.2105 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 142 | 1395 | 0.2507 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 162 | 1594 | 0.2582 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 183 | 1793 | 0.2709 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 203 | 1991 | 0.2859 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 224 | 2191 | 0.4416 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 244 | 2390 | 0.4581 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 264 | 2589 | 0.5309 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 285 | 2788 | 0.5834 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 305 | 2987 | 0.5932 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 325 | 3186 | 0.6584 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 345 | 3385 | 0.7020 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 366 | 3585 | 0.7178 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 386 | 3784 | 0.7503 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 406 | 3983 | 0.7814 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 427 | 4182 | 0.8307 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 447 | 4381 | 0.8383 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 467 | 4580 | 0.8894 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 467 | 4580 | 0.8894 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Modulo de ruptura -S_r-</th> <th>(kgf/cm²)</th> <th>(N/mm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>96.68</td> <td>9.47</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | Modulo de ruptura -S _r - | (kgf/cm ²) | (N/mm ²) | 96.68 | 9.47 | | Carga rotura (kgf) Carga en el limite proporcional -P'- (kgf) Deformación max -a max- (cm) Deformación en el limite proporcional (cm) | Modulo elastico aparente -E _t - Esfuerzo de corte -τ _m - Deformación max -a max- (cm) Deformación en el limite proporcional (cm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modulo de ruptura -S _r - | (kgf/cm ²) | (N/mm ²) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 96.68 | 9.47 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GRAFICA CARGA VS DEFORMACION  | | FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

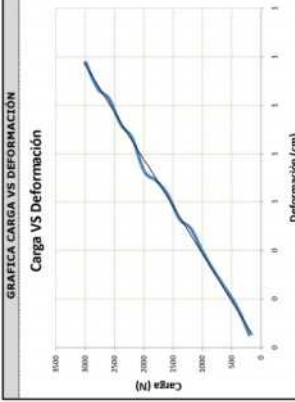
| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | ENSAYO: FLEXIÓN HORRIA: NTC 5279 FECHA: | |
| TRABAJO DE GRADO AUTOR DIRECTOR | | ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA (TECTORIA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LANIADO PESADO ESTRUCTURAL. ARQ. JOSE SIEDIL BARBETO CASTAÑEDA ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | ESPECIE: TECA (TECTORIA GRANDIS) DENSIDAD BÁSICA: 550 kg/cm ² CONTENIDO DE HUMEDAD: 18% HUMEDAD RELATIVA: 30% TEMPERATURA LUGAR: 20°C | |
| OBJETIVO ESPECIFICO NUMERO 4 | | LABORATORIO DEL IET | | MAQUINA DE PRESIÓN DE BOMBEO MANUAL Y MEDIDOR DE PRESIÓN | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: | | LABORATORIO DEL IET | | MAQUINA DE PRESIÓN DE BOMBEO MANUAL Y MEDIDOR DE PRESIÓN | |
| ADHESIVO | | | | | |
| TIPO: MELAMINA UREA FORMALHEIDO | | CODIGO FABRICANTE: MUF 242 / 2542 | | FORMA: LÍQUIDO | |
| ORIGEN: AKZO NOBEL (HOLANDA) | | TIEMPO DE PRENSADO: 17 HORAS | | TEMPERATURA DE FRAGUADO: 13°C | |
| PRESIÓN DE PRENSADO: 100 kg/cm ² | | HUMEDAD DE FRAGUADO: 77% | | TEMPERATURA DE FRAGUADO: 13°C | |
| TIEMPO DE FRAGUADO: 7 DIAS | | | | | |


| Numero de lectura | Carga (kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 20 | 199 | 0.0522 |
| 2 | 41 | 398 | 0.1619 |
| 3 | 61 | 597 | 0.2392 |
| 4 | 81 | 797 | 0.3129 |
| 5 | 102 | 996 | 0.3943 |
| 6 | 122 | 1195 | 0.4684 |
| 7 | 142 | 1394 | 0.5397 |
| 8 | 163 | 1593 | 0.6104 |
| 9 | 183 | 1792 | 0.6873 |
| 10 | 203 | 1991 | 0.7553 |
| 11 | 224 | 2191 | 0.8630 |
| 12 | 244 | 2390 | 0.9216 |
| 13 | 264 | 2589 | 1.0273 |
| 14 | 285 | 2788 | 1.0707 |
| 15 | 305 | 2987 | 1.1776 |
| 16 | | 0 | |
| 17 | | 0 | |
| 18 | | 0 | |
| 19 | | 0 | |
| 20 | | 0 | |
| 21 | | 0 | |
| 22 | | 0 | |
| 23 | | 0 | |
| 24 | | 0 | |
| 25 | | 0 | |
| 26 | | 0 | |
| 27 | | 0 | |
| 28 | | 0 | |
| 29 | | 0 | |
| 30 | | 0 | |
| 31 | | 0 | |
| 32 | | 0 | |
| 33 | | 0 | |


| ESQUEMA DE LA PRUEBA | FORMULAS | Carga rotura (Kgff) | Deformación en el limite proporcional (-p -a- (cm) | Deformación max. -A- (-a- (cm) | Deformación en el limite proporcional (-a- (cm) |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|
|  | $S_r = \frac{3Pl}{bh^2}$ $E_f = \frac{P'a}{4bh^3\Delta} (3L^2 - 4a^2)$ $tm = \frac{3P}{4bh}$ | 284.50 | 1.18 | 1.07 | 1.07 |

| Modulo elástico aparente -E- | Esfuerzo de corte -Tm- |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| (kgf/cm ²) (N/mm ²) 50,712 4970 | (kgf/cm ²) (N/mm ²) 8.17 0.80 |

| ANCHO DE PRUEBA | ALTIMO DE PRUEBA | LONGITUD DE PRUEBA | MODULO DE ROTURA |
|-----------------|------------------|--------------------|------------------|
| 5.8 | 15.1 | 90 | 17.08 |

| GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN |
|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |

| FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PRUEBA |
|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |

| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------|
|  | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | FLEXIÓN NTC 1279 |
| TRABAJO DE GRADO ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL | | ESPECIE TECA (TECTONA GRANDIS) | | |
| AUTOR DR. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | DENSIDAD BÁSICA 550 kg/cm ³ | | |
| DIRECTOR DR. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | HUMEDAD DE EQUILIBRIO 18% | | |
| OBJETIVO ESPECÍFICO NUMERO 4 | | HUMEDAD RELATIVA 39% | | |
| | | TEMPERATURA LUGAR 20°C | | |
| LUGAR DE LA PRUEBA: LABORATORIO DEL IRI | | MAQUINA DE PRESIÓN DE BOMBEO MANUAL Y MEDIDOR DE PRESIÓN | | |
| TIPO MELAMINA UREA FORMALHEIDO | | CODIGO FABRICANTE MUF 1242 / 2542 | | |
| ORIGEN AKZO NOBEL (HOLANDA) | | FORMA LIQUIDO | | |
| PRESIÓN DE PRENSADO 100 kg/cm ² | | TIEMPO DE PRENSADO 17 HORAS | | |
| TIEMPO DE FRAGUADO 7 DIAS | | HUMEDAD DE FRAGUADO 77% | | |
| TEMPERATURA DE FRAGUADO 13°C | | | | |

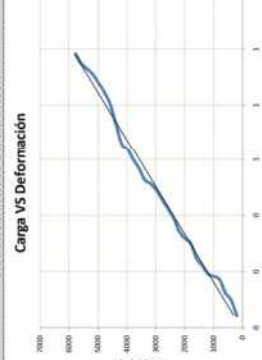
| Numero de lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 20 | 199 | 0.0433 |
| 2 | 41 | 398 | 0.0993 |
| 3 | 61 | 597 | 0.1242 |
| 4 | 81 | 797 | 0.1124 |
| 5 | 102 | 996 | 0.1829 |
| 6 | 122 | 1195 | 0.1919 |
| 7 | 142 | 1394 | 0.2210 |
| 8 | 163 | 1593 | 0.4668 |
| 9 | 183 | 1792 | 0.5070 |
| 10 | 204 | 1991 | 0.3120 |
| 11 | 224 | 2191 | 0.3435 |
| 12 | 244 | 2390 | 0.3912 |
| 13 | 264 | 2589 | 0.4255 |
| 14 | 285 | 2788 | 0.4572 |
| 15 | 305 | 2987 | 0.4912 |
| 16 | 325 | 3186 | 0.5136 |
| 17 | 345 | 3385 | 0.5274 |
| 18 | 365 | 3585 | 0.5690 |
| 19 | 385 | 3784 | 0.6007 |
| 20 | 405 | 3983 | 0.6398 |
| 21 | 427 | 4182 | 0.6611 |
| 22 | 447 | 4381 | 0.7328 |
| 23 | 467 | 4580 | 0.8044 |
| 24 | 488 | 4780 | 0.8466 |
| 25 | 508 | 4979 | 0.8789 |
| 26 | 528 | 5178 | 0.9108 |
| 27 | 549 | 5377 | 0.9303 |
| 28 | 569 | 5576 | 0.9493 |
| 29 | 589 | 5775 | 0.9839 |
| 30 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | 0 | 0 | 0 |

| Carga rotura (kgf) | Carga en el limite proporcional (kgf) | Deformación max -Δ max- (cm) | Deformación en el limite proporcional (cm) |
|--------------------|---------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| 1,335.11 | 548.67 | 0.98 | 0.93 |


| Modulo elastico aparente -E _p | Modulo de corte -τ _m |
|------------------------------------------|---------------------------------|
| (kgf/cm ²) | (kgf/cm ²) |
| 126,185 | 12,00 |
| (N/mm ²) | (N/mm ²) |
| 12,366 | 1.18 |

| Modulo de retora -S _r | Modulo de retora aparente -E _p |
|----------------------------------|-------------------------------------------|
| (kgf/cm ²) | (N/mm ²) |
| 357.47 | 35.03 |

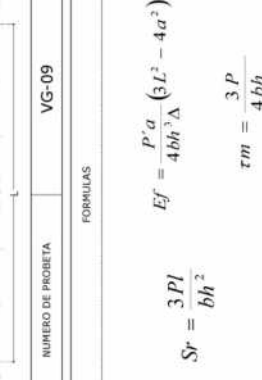
GRAFICA CARGA VS DIFORMACIÓN



FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PROBETA



ESQUEMA DE LA PRUEBA



FORMULAS

$$S_r = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$E_f = \frac{P'a}{4bh^3\Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

$$\tau_m = \frac{3P}{4bh}$$

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN NOVENA COHORTE | | ENSAJO FLEXIÓN |
| ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ESPECIE DE MADERA TROPICAL TECA (TECTONIA GRANDIS) EN EL SISTEMA DE LAMINADO PEGADO ESTRUCTURAL. | | NORMA: NTC 5279 |
| ARQ. JOSE SEDIEL BARRETO CASTAÑEDA | | FECHA: TECA (TECTONIA GRANDIS) |
| ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA | | DENSIDAD BÁSICA 550 kg/cm ² |
| OBJETIVO ESPECÍFICO NUMERO 4 | | CONTENIDO DE HUMEDAD 18% |
| LABORATORIO DEL IIE | | HUMEDAD RELATIVA 38% |
| LABORATORIO DEL IIE | | TEMPERATURA LUGAR 28°C |
| LABORATORIO DEL IIE | | MÁQUINA DE PRESIÓN DE BOMBEO MANUAL Y MEDIDOR DE PRESIÓN |
| ADHESIVO | | CÓDIGO FABRICANTE MIUF 242 / 2542 |
| MELAMINA UREA FORMALDEHDO | | FORMA LÍQUIDO |
| AZCO NOBEL (HOLANDA) | | TIEMPO DE PRENSADO 17 HORAS |
| 100 kg/cm ² | | TEMPERATURA DE FRAGUADO 13°C |
| 7 DIAS | | |

| Número de Lectura | Carga (Kgf) | Carga (Newton) | Deformación (cm) |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| 1 | 305 | 2,987 | 0.3299 |
| 2 | 325 | 3,186 | 0.3687 |
| 3 | 345 | 3,386 | 0.4043 |
| 4 | 366 | 3,585 | 0.4291 |
| 5 | 386 | 3,784 | 0.4895 |
| 6 | 406 | 3,983 | 0.5630 |
| 7 | 427 | 4,182 | 0.6092 |
| 8 | 447 | 4,381 | 0.6484 |
| 9 | 467 | 4,580 | 0.6957 |
| 10 | 488 | 4,780 | 0.7466 |
| 11 | 508 | 4,979 | 0.7804 |
| 12 | 528 | 5,178 | 0.7943 |
| 13 | 549 | 5,377 | 0.8412 |
| 14 | 569 | 5,576 | 0.8701 |
| 15 | 589 | 5,775 | 0.9146 |
| 16 | 610 | 5,974 | 0.9264 |
| 17 | 630 | 6,174 | 0.9542 |
| 18 | 650 | 6,373 | 0.9792 |
| 19 | 671 | 6,572 | 1.0211 |
| 20 | 691 | 6,771 | 1.0573 |
| 21 | 711 | 6,970 | 1.0823 |
| 22 | 732 | 7,169 | 1.1181 |
| 23 | 752 | 7,369 | 1.1429 |
| 24 | 772 | 7,568 | 1.2005 |
| 25 | 793 | 7,767 | 1.2431 |
| 26 | 813 | 7,966 | 1.2880 |
| 27 | 833 | 8,165 | 1.3044 |
| 28 | 853 | 8,364 | 1.3255 |
| 29 | 874 | 8,563 | 1.3771 |
| 30 | 894 | 8,763 | 1.3957 |
| 31 | 914 | 8,962 | 1.4160 |
| 32 | 935 | 9,161 | 1.4273 |
| 33 | 955 | 9,360 | 1.4275 |

ESQUEMA DE LA PRUEBA

NUMERO DE PRUEBA: **VG-10**

FORMULAS

$$Sr = \frac{3Pl}{bh^2}$$

$$Ef = \frac{P'a}{4bh^3\Delta} (3L^2 - 4a^2)$$

$$\epsilon m = \frac{3P}{4bh}$$

| | | | | |
|-------------------------------------------------|-------|--------|------|------|
| Carga rotura -p- (Kgf) | 2.215 | 873.82 | 1.43 | 1.38 |
| Deformación en el limite proporcional -p- (Kgf) | | | | |
| Deformación max -a máx- (cm) | | | | |
| Deformación en el limite proporcional -a- (cm) | | | | |

| | | | | |
|------------------------------------------------------|---------|--------|-------|------|
| Modulo elástico aparente -Ef- (kgf/cm ²) | 132,846 | 13,019 | 19,87 | 1,95 |
| Esfuerzo de corte -Tr- (N/mm ²) | | | | |

GRAFICA CARGA VS DEFORMACIÓN

FOTOGRAFIA DE LA FALLA DE PRUEBA

E. Anexo: características de la especie teca



Nombre científico: *Tectona grandis* Linn F.

Familia: Verbenaceae

Otros nombres comunes:

Teca (Esp. y Colombia); Teca (Port.); Teck (Francia); Teak Genuine (Inglaterra y Estados Unidos).

Nombres difundidos a nivel mundial.

Distribución geográfica:

Se encuentra en estado natural en la India, Birmania, Tailandia, Indochina (especialmente en Java) y Malasia. No obstante ha sido plantada en las Filipinas, África, Guyana Británica, Puerto Rico, Cuba, Haití, Jamaica, Trinidad, Honduras, Camboya, Laos, Vietnam (Norte y Sur) y en América Latina.

Características sobresalientes del árbol:

Árbol que alcanza hasta 50 m. de altura y un diámetro de 2.5 m. Raíces grandes, profundas y con fuertes raíces laterales. Tronco recto, especialmente cuando joven, con la tendencia a bifurcarse o ramificarse en exceso si crece aislado. Las ramas en árboles adultos son gruesas. Las hojas son opuestas, caducas, muy grandes, de color verde oscuro en el haz y marrón claro y afelpado en el envés. Flores de color lila y dispuestas en grandes panículas terminales. El fruto es una drupa cuadrilobulada, con pericarpio afelpado que encierra una semilla bastante dura. Es bastante exigente en luz y requiere para su desarrollo suelos bien drenados, fértiles y profundos. Crece bien en zonas húmedas desde el nivel del mar hasta una altitud de 1.000 m., una precipitación de 1.000 a 3.000 mm. /año y una temperatura promedio de 26°C.

Características externas de la madera:

Cuando la madera está recién cortada, el duramen es de color verde-oliva, pero se convierte en un color marrón-dorado cuando seca, mostrando frecuentemente bandas de color oscuro que se desvanecen eventualmente con el paso del tiempo.

La albura es de color amarillento a blanco y abruptamente separada del duramen.

Se distinguen los anillos de crecimiento y, excepto en el caso de anillos ocasionales, éstos son de ocurrencia anual y se muestran en las superficies laterales como líneas de color marrón estrechas que son más oscuras que el resto del duramen.

Olor desagradable, con una fragancia aceitosa característica cuando está recién cortada y que se acentúa cuando se humedece o se calienta. Sabor no distintivo.

Textura fina uniforme. Grano recto. Brillo mediano. Veteado acentuado, producido por los anillos de crecimiento.

Secado:

La madera se estabiliza bien con el secado, pero esto ocurre lentamente. Seca fácilmente al aire presentando ligeras deformaciones, pero no endurecimientos ni tensiones superficiales. El secado al horno es bueno, sin tendencias a rajaduras o alabeos, pero ocurren variaciones considerables en las tasas individuales de secado de tableros. Se recomiendan como horarios de secado: El T10-D4S y el T8-D3S de los Estados Unidos y el H de Reino Unido.

Preservación:

La madera es considerada muy difícil de tratar con inmunizantes. La albura tratada por el sistema vacío-presión o inmersión, tiene una penetración incompleta y una retención de 50 a 100 kg/m³ y el duramen es imposible de tratar, cualquiera sea el método que se utilice.

Durabilidad natural: (2, 5, 7, 8, 9).

Es resistente, con una duración en uso exterior de 10 a 15 años. El duramen es resistente al ataque de termitas de madera seca, siendo comparable a La Caoba de las Indias Occidentales (*Swietenia mahogani*) en este aspecto. Es también moderadamente resistente a termitas subterráneas y muy durable en el suelo, pero es fácilmente atacada por la polilla de mar. La albura no tiene ninguna de las propiedades de durabilidad del duramen, además de ser atacada por la Carcoma.

Trabajabilidad: (5, 6, 7, 8, 9).

Es una madera fácil de trabajar con herramientas comunes y no ofrece ninguna dificultad a los procesos de maquinado. La madera posee contenidos variables de Sílice que llegan hasta el 1.4% lo cual hace que esta sea abrasiva siendo por lo tanto necesario utilizar herramientas con filos reforzados. Es una madera moderadamente buena para doblar al vapor. Da un buen acabado y se deja encolar fácilmente.

Usos actuales: (4, 5, 8, 9, 10).

La madera es bien conocida por su contracción baja y su excelente estabilidad luego de trabajarla, siendo muy utilizada para cubiertas de aviones, barcos y otras embarcaciones grandes. Se usa para pisos, ebanistería, pilotes, coches de ferrocarril, construcciones interiores, construcciones pesadas sometidas a la intemperie, marcos de puertas y ventanas, tornería, talla, muebles y panelería. Es excepcionalmente apropiada para tanques, tinas, bañeras, cocinas, para bancos de laboratorios y plantas químicas (debido a su alta resistencia a los ácidos), estacones, armazones de casas y chapas decorativas. La madera no corroe los metales cuando se usa en contacto con ellos.

PROPIEDADES FÍSICAS: (6, 9, 11)

| DENSIDAD (g/cm ³) | VERDE | SECA AL AIRE | ANHIDRA | BÁSICA |
|----------------------------------|------------|--------------|-------------|--------|
| | 0.80 | 0.61 | 0.57 | 0.53 |
| CONTRACCIÓN NORMAL (%) | TANGENCIAL | RADIAL | VOLUMÉTRICA | T/R |
| | 2.69 | 1.61 | 4.30 | 1.67 |
| CONTRACCIÓN TOTAL (%) | 4.52 | 2.52 | 7.04 | 1.79 |

PROPIEDADES MECANICAS: (6, 9, 11)

| CONDICIÓN | FLEXIÓN ESTÁTICA | | | COMPRESIÓN | | | | |
|----------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | | | PARALELA | | | PERPENDICULAR | |
| | ELP (Kg/cm ²) | MOR (Kg/cm ²) | MOE ¹⁰ (Kg/cm ²) | ELP (Kg/cm ²) | MOR (Kg/cm ²) | MOE ¹⁰ (Kg/cm ²) | ELP (Kg/cm ²) | MOR (Kg/cm ²) |
| VERDE + 30% | 455 | 780 | 97.05 | 254 | 361 | 37.2 | 63 | ---- |
| SECO AL AIRE 12 % | 633 | 1005 | 108.17 | 336 | 458 | ---- | 75 | ---- |

| CONDICIÓN CH% | DUREZA | | | CIZALLADURA Kg/cm ² | | TENACIDAD Kg-m | | EXTRAC.CLAVOS Kg. | |
|---------------------|----------|------|-------|-----------------------------------|------|-------------------|------|----------------------|----------|
| | Extremos | Rad. | Tang. | Lateral | ---- | Radial | ---- | Radial Tangenc. | Extremos |
| VERDE +30% | 447 | 487 | 476 | 103 | ---- | 6.1 | ---- | 115 | 86 |
| SECO AL AIRE 12% | 481 | 489 | 494 | 111 | ---- | 3.8 | ---- | 93 | 83 |

ELP: Esfuerzo en el límite proporcional

MOR: Módulo de ruptura

MOE: Módulo de elasticidad

Las propiedades mecánicas son de algo medianas a medianas, lo cual concuerda con su densidad y las claves para identificación de resultados.

Bibliografía

Acosta, I. (2004). Estudio de tendencias y Perspectivas del sector forestal en América Latina Documento de Trabajo - Informe Nacional Colombia. Roma: Corporación Nacional de Investigación y Fomento Nacional (CONIF).

AITIM. (ENERO de 1996). Adhesivos para estructuras de madera laminada. AITIM .

AITIM. (Diciembre de 1997). Madera laminada encolado de uniones dentadas. AITIM .

Akzo Nobel. (2001). Ficha técnica Akzo Nobel MUF 1242/2542. Madrid: Akzo Nobel.

Arriaga, F., & Blasco, J. R. (2007). Estructuras en madera. Madrid: Aitim.

ASTM D 905-08. (2008). Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading. West Conshohocken: ASTM.

ASTM D143-09. (2009). Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. West Conshohocken: ASTM.

ASTM D143-94. (2007). Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. West Conshohocken: ASTM.

ASTM D198 - 09. (2009). Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes. West Conshohocken: ASTM.

Barrera, J. (Diciembre de 2010). La Madera Laminada: Una alternativa estructural y ambiental. Revista M&M .

Berrio, J. (2007). La reforestación en Colombia visión de futuro. Bogotá: Fedemaderas.

Bobadilla, I. (Septiembre de 2006). Especies de madera con problemas de encolado. AITIM , 76-74.

Díaz, F. (2002). Maderas tropicales en la fabricación de laminado encolado estructural, tesis para obtener el título de magister en construcción en madera. Concepción: Universidad Bio-Bio.

Escobar, O. (1993). Las maderas en Colombia. Medellín: Universidad Nacional de Colombia - Sena.

Fernández, J. (Marzo de 2003). Normas aplicables a las estructuras de madera laminada encolada. AITIM .

Guindeo, A. (2004). Especies de madera para carpintería, construcción y mobiliario. Madrid: AITIM.

Hoheisel, H. (1988). Principios básicos de encolado uniones de dentadura. Seminario aplicaciones estructurales de la madera: cercha, vigas laminadas y conectores. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Ladrach, W. (2009). Manejo de plantaciones de teca para productos sólidos. Bethesda (Maryland): Sociedad Internacional de Forestales Tropicales - ISTF.

lignum facile. (2010). lignum facile. Obtenido de lignum facile: <http://www.lignumfacile.es>

Ministerio de Agricultura - Refocosta - Conif. (2008). Propagación por semillas de la Teca. Bogotá.

Ministerio de Vivienda - España. (2003). Documento básico SEM-M Seguridad estructural madera. Madrid: Ministerio de Fomento - España.

Murillo, S. (2001). Caracterización del aprovechamiento sostenible del recurso forestal para la construcción en madera. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Murillo, S. (2001). La madera y la construcción de una cultura, construcciones en madera en Chiloé reflexiones para el aprovechamiento local. 2001: Pontificia Universidad Javeriana.

NCh 2148. (2006). Madera Laminada estructural - Requisitos e inspección. Santiago: Instituto Nacional de Normalización de Chile - INN.

NCh 2165. (1991). Tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de pino radiata. Santiago: Instituto Nacional de Normalización de Chile - INN.

NSR-10. (2010). Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente. Bogotá: Comisión asesora permanente de construcción sismo resistente.

NTC 206. (2005). Determinación del contenido de humedad para ensayos físicos y mecánicos. Bogotá: Icontec.

NTC 2279. (1999). Metodo de ensayo para determinar la resistencia adhesiva al corte de los adhesivos usados en madera sometidas a cargas de compresión. Bogotá: Icontec.

NTC 2500. (1997). Uso de la madera en la construcción. Bogotá: Icontec.

- NTC 301. (2007). Requisitos de las probetas pequeñas para los ensayos físicos y mecánicos de la madera. Bogotá: Icontec.
- NTC 5279. (2004). Metodos de ensayo estático para maderas de tamaño estructurales. Bogotá: Icontec.
- NTC 663. (1973). Determinación de la resistencia a la flexión. Bogotá: Icontec.
- NTC 775. (1974). Determinación de la resistencia al cizallamiento paralelo al grano. Bogotá: Icontec.
- Parkey, H. (1972). Diseño simplificado de estructuras en madera. México: Limusa-Wiley.
- Pérez, V. (1992). Manual de madera laminada. Santiago: Instituto Forestal de Chile.
- Piqué, J. (1984). Manual de diseño para maderas del grupo andino. Lima: Junac.
- Proexport Colombia. (2010). Sector Forestal en Colombia. Bogotá: Proexport Colombia.
- Quevedo, V. (2000). Adherencia y adhesivos para madera. Seminario materiales de nueva generación y materiales eficientes. Alcala: Universidad de Alcala.
- Rosero, L. (1998). Estructura laminada con maderas tropicales, tesis para obtener el titulo de arquitectura. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Salinas, J. J. (1996). Seminario internacional sobre diseño y construcción en madera. Bogotá: Universida Nacional de Colombia - Facultad de Ingenieria.
- UNE-EN 301. (1994). Adhesivo para estructuras en madera bajo carga. Madrid: Aenor.
- UNE-EN 302-4. (2005). Adhesivos para madera de uso estructural. Madrid: Aenor.
- UNE-EN 336. (2003). Madera Estructural dimensiones y tolerancias. Madrid: Aenor.
- UNE-EN 350-2. (1995). Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Aenor: Madrid.
- UNE-EN 385. (2002). Empalmes por unión dentada en madera estructural, especificaciones y requisitos mínimos de fabricación. Madrid: Aenor.
- UNE-EN 386. (1995). Madera laminada encolada, especificaciones y requisitos de fabricación. Madrid: Aenor.

UNE-EN 392. (1995). Madera laminada encolada, ensayo de esfuerzo cortante en líneas de adhesivos. Madrid: Aenor.

UNE-EN 408. (2004). Estructuras en madera, madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural, determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Madrid: Aenor.

Universidad de Bio-Bio. Tecnología en edificación en madera. Universidad de Bio-Bio.