



# ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA  
CONSTRUCCIÓN.**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.**



**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

**TEMA: ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA  
MADERA COMERCIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN, DISPONIBLE  
EN LAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS MÁS REPRESENTATIVAS  
DE LA CIUDAD DE QUITO.**

**AUTOR: NARVÁEZ MORENO, GARRY ALAN**

**DIRECTORA: ING. PAZMIÑO MONTERO, MARTHA ELIZABETH**

**Mgs.**

**SANGOLQUÍ**

**2019**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “*ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA MADERA COMERCIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN, DISPONIBLE EN LAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS MÁS REPRESENTATIVAS DE LA CIUDAD DE QUITO*” fue realizado por el señor *Narvárez Moreno, Garry Alan* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual tanto me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 8 de Agosto del 2019

Firma:

**Ing. Martha Elizabeth Pazmiño Montero Mgs.**

C.C. 1708618036



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

### CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

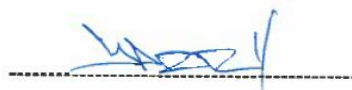
#### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Narváz Moreno, Garry Alan*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Análisis de los parámetros de calidad de la madera comercial para la construcción, disponible en las empresas distribuidoras más representativas de la ciudad de Quito* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Sangolquí, 8 de Agosto de 2019**

Firma



**Garry Alan Narváz Moreno**

C.C.: 1720545274



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

### CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

#### AUTORIZACIÓN

*Yo, Narváez Moreno, Garry Alan autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis de los parámetros de calidad de la madera comercial para la construcción, disponible en las empresas distribuidoras más representativas de la ciudad de Quito** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

**Sangolquí, 8 de Agosto del 2019**

Firma:

A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal dashed line. The signature is stylized and appears to read 'Garry Alan Narváez Moreno'.

**Garry Alan Narváez Moreno**

C.C. 1720545274

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de investigación a todo aquel que tiene el valor de luchar por sus sueños e imprimir sus visiones en la realidad.

Garry Alan Narvárez Moreno

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todos los que aportaron de una manera u otra al desarrollo del proyecto de investigación.

Garry Alan Narváez Moreno.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>1</b>
<b>DATOS PRELIMINARES</b>	
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Información General .....	2
1.2.1 Hipótesis.....	2
1.2.2 Objetivos general.....	2
1.2.3 Objetivos específicos del proyecto.....	2
1.2.4 Metas del proyecto.....	2
1.2.5 Importancia del proyecto.....	3
1.2.6 Datos de las empresas distribuidoras contactadas.....	4
1.2.7 Datos de las empresas constructoras contactadas.....	5
1.3 Oferta comercial.....	9
1.3.1 Tipos de maderas disponibles.....	9
1.3.2 Costos y disponibilidad de los productos.....	18
1.4 Análisis de los servicios ofrecidos entre las empresas distribuidoras.....	20

<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>21</b>
<b>CONCEPTOS Y DEFINICIONES</b>	
2.1 La madera como material para la construcción.....	21
2.2 Conceptos matemáticos aplicativos.....	22
2.2.1 Esfuerzo normal de compresión.....	22
2.2.2 Módulo de elasticidad.....	23
2.2.3 Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria.....	24
2.2.4 Ley de Hooke.....	25
2.2.5 Deformación unitaria.....	26
2.2.6 Deformación unitaria porcentual.....	27
2.2.7 Esfuerzos en planos inclinados.....	27
2.2.8 Esfuerzos admisibles.....	29
2.2.9 Factores de reducción por calidad, servicio, seguridad y tamaño.....	30
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>33</b>
<b>ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	
3.1 Procedimientos de ensayo.....	33
3.1.1 Metodología para el ensayo de tracción paralela a las fibras.....	33
3.1.2 Metodología para el ensayo de tracción perpendicular a las fibras.....	36
3.1.3 Metodología para el ensayo de compresión paralela a las fibras.....	37
3.1.4 Metodología para el ensayo de compresión perpendicular a las fibras.....	40
3.1.5 Metodología para el ensayo de cizallamiento.....	42
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>44</b>
<b>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	
4.1 Datos obtenidos.....	44
4.1.1 Compresión paralela a las fibras.....	44



4.1.2	Compresión perpendicular a las fibras.....	45
4.1.3	Tracción paralela a las fibras.....	47
4.1.4	Tracción perpendicular a las fibras.....	48
4.1.5	Cizallamiento.....	49
4.2	Diagramas de esfuerzo – deformación unitaria.....	51
4.2.1	Diagramas compresión paralela a las fibras.....	51
4.2.2	Diagramas compresión perpendicular a las fibras.....	52
4.2.3	Diagramas tracción paralela a las fibras.....	54
4.2.4	Diagramas tracción perpendicular a las fibras.....	55
4.2.5	Diagramas cizallamiento.....	57
 <b>CAPÍTULO 5</b>		<b>59</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		
5.1	Conclusiones.....	59
5.2	Recomendaciones.....	60
5.3	Referencias.....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Productos y características SJ</i> .....	18
<b>Tabla 2</b> <i>Productos y características SF</i> .....	19
<b>Tabla 3</b> <i>Calidad de los servicios ofrecidos</i> .....	20
<b>Tabla 4</b> <i>Esfuerzos teóricos resistentes a compresión por grupo</i> .....	29
<b>Tabla 5</b> <i>Factores de reducción</i> .....	32
<b>Tabla 6</b> <i>Resultados compresión paralela a las fibras</i> .....	44
<b>Tabla 7</b> <i>Resultados compresión perpendicular a las fibras</i> .....	45
<b>Tabla 8</b> <i>Resultados tracción paralela a las fibras</i> .....	47
<b>Tabla 9</b> <i>Resultados tracción perpendicular a las fibras</i> .....	48
<b>Tabla 10</b> <i>Resultados cizallamiento</i> .....	49
<b>Tabla 11</b> <i>Resultados esfuerzos máximos a compresión paralela a las fibras</i> .....	51
<b>Tabla 12</b> <i>Resultados esfuerzos máximos a compresión perpendicular a las fibras</i> .....	52
<b>Tabla 13</b> <i>Resultados esfuerzos máximos a tracción paralela a las fibras</i> .....	54
<b>Tabla 14</b> <i>Resultados esfuerzos máximos a tracción perpendicular a las fibras</i> .....	55
<b>Tabla 15</b> <i>Resultados esfuerzos máximos al cizallamiento</i> .....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Casa de madera con piedra.....	6
<b>Figura 2</b> Casa de madera con pérgola.....	6
<b>Figura 3</b> Finca hecha de madera.....	6
<b>Figura 4</b> Cabaña de 1 piso hecha de madera.....	7
<b>Figura 5</b> Pérgola con vigas de madera.....	7
<b>Figura 6</b> Pérgola hecha de madera.....	7
<b>Figura 7</b> Casa tipo I hecha de madera.....	8
<b>Figura 8</b> Casa tipo II hecha de madera.....	9
<b>Figura 9</b> Pilares de colorado.....	9
<b>Figura 10</b> Vigas de eucalipto.....	10
<b>Figura 11</b> Vigas de colorado.....	10
<b>Figura 12</b> Vigas aserradas de colorado.....	11
<b>Figura 13</b> Vigas aserradas de chanul.....	11
<b>Figura 14</b> Piezas de eucalipto cuadradas con hacha.....	12
<b>Figura 15</b> Cuartones de madera apilados.....	13
<b>Figura 16</b> Largueros de madera apilados.....	14
<b>Figura 17</b> Duelas de madera apiladas horizontalmente.....	15
<b>Figura 18</b> Duelas de madera apiladas verticalmente.....	15
<b>Figura 19</b> Tablas de madera cepilladas y apiladas.....	16
<b>Figura 20</b> Tablas de monte.....	16
<b>Figura 21</b> Pilares de colorado.....	17
<b>Figura 22</b> Tablones de seike.....	17
<b>Figura 23</b> Diagrama teórico de esfuerzos vs deformación unitaria.....	24
<b>Figura 24</b> Probeta de ensayo para tracción paralela a las fibras vista I.....	33
<b>Figura 25</b> Probeta de ensayo para tracción paralela a las fibras vista II.....	34
<b>Figura 26</b> Probeta de ensayo para tracción perpendicular a las fibras.....	36

<i>Figura 27</i> Probeta de ensayo para compresión paralela a las fibras.....	37
<i>Figura 28</i> Calibrador de rey.....	38
<i>Figura 29</i> Prensa hidráulica.....	38
<i>Figura 30</i> Flexómetro.....	38
<i>Figura 31</i> Deformímetro.....	39
<i>Figura 32</i> Placa.....	41
<i>Figura 33</i> Probeta de ensayo para compresión perpendicular a las fibras.....	41
<i>Figura 34</i> Probeta de ensayo para cizallamiento.....	42
<i>Figura 35</i> Comportamiento de las maderas a compresión paralela.....	44
<i>Figura 36</i> Comportamiento de las maderas a compresión perpendicular.....	46
<i>Figura 37</i> Comportamiento de las maderas a tracción paralela.....	47
<i>Figura 38</i> Comportamiento de las maderas a tracción perpendicular.....	48
<i>Figura 39</i> Comportamiento de las maderas al cizallamiento.....	50
<i>Figura 40</i> Gráfica de esfuerzo vs deformación unitaria compresión paralela.....	51
<i>Figura 41</i> Gráfica de esfuerzo vs deformación unitaria compresión perpendicular.....	52
<i>Figura 42</i> Gráfica de esfuerzo vs deformación unitaria tracción paralela.....	54
<i>Figura 43</i> Gráfica de esfuerzo vs deformación unitaria tracción perpendicular.....	56
<i>Figura 44</i> Gráfica de esfuerzo vs deformación unitaria cizallamiento.....	57

## **RESUMEN**

La construcción en madera es una actividad productiva que está en evolución generando riqueza y fuentes de empleo. Los materiales a utilizar en las obras proyectadas deben cumplir en el Ecuador con la Norma Ecuatoriana para la Construcción N.E.C. 15 en la que en su capítulo referente al diseño de estructuras con madera expresa que la madera debe cumplir con los esfuerzos establecidos en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, considerando esto, este proyecto de investigación define la calidad de la madera estructural que ofrecen las distribuidoras más representativas de la ciudad de Quito. La investigación se enfoca en determinar las resistencias a la compresión paralela a las fibras, compresión perpendicular a las fibras, tracción paralela a las fibras, tracción perpendicular a las fibras y cizallamiento. Las maderas en estudio son chanul, eucalipto y colorado ofertadas en el Aserradero San Felipe y en el Aserradero San Jorge considerados como parte de los distribuidores más representativos. El proyecto analiza los resultados obtenidos en laboratorio, procesa la información a través de cálculos matemáticos aplicativos, compara los resultados con la norma y saca conclusiones acerca de la calidad resistente de la madera comercial de uso estructural disponible en la ciudad de Quito.

### **PALABRAS CLAVES:**

- MADERA
- NORMA
- ESFUERZOS
- CALIDAD
- LABORATORIO

## **ABSTRACT**

Construction with wood is a profit activity that is in constant evolution, generating wealth and jobs. The different materials that will be used for construction must comply technical standards from the Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2011. In the chapter that talks about wood structural design expresses that they must meet the efforts set out on the Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. So, this investigation defines the quality of structural wood that is offered by the most representative distributors in Quito. This research focuses in the determination of the compressive strength in the parallel and perpendicular direction to the fibre, tensile strength in the perpendicular and parallel direction to the fibre and shearing resistance. Chanul, Eucalipto and Colorado woods from San Felipe and San Jorge sawmills are studied in this research. These two sawmills are considered as more representative in Quito. This project analyses the results obtained in the laboratory, processes the information through applicative mathematical calculations, and compare them with the technical standards and make conclusions about the quality of the structural wood that is available in Quito

### **KEYWORDS:**

- **WOOD**
- **STANDARS**
- **EFFORTS**
- **QUALITY**
- **LABORATORY**

## **CAPÍTULO 1**

### **DATOS PRELIMINARES**

#### **1.1.- Antecedentes**

Las normas establecen valores teóricos de resistencia en función de cada tipo de madera, estos valores son de gran importancia en el diseño estructural de proyectos de construcción, por esto es de suma importancia que los valores que se toman de la norma sean los valores que resiste en la práctica la madera comercial a utilizar, de lo contrario el proyecto estaría destinado a un total fracaso y a poner en riesgo a todos los involucrados en este. Se busca en este proyecto de investigación aplicar procedimientos de laboratorio para determinar con exactitud la calidad de las maderas comerciales disponibles para la construcción en la ciudad de Quito.

Es evidente el avance que ha tenido la tecnología en la construcción en este tiempo, es así que las técnicas constructivas y los recursos madereros han evolucionado también, han dado facilidades a los constructores y han ofrecido productos de calidad.

La norma es el parámetro que nos rige por excelencia, sin embargo mientras avanza la tecnología es importante analizar, comparar, investigar, cotejar y sacar conclusiones de cómo se relacionan las normativas con todo el proceso innovativo que presenta la construcción. (Rodríguez, 2005)

Según Rodríguez (2005) es fundamental comparar valores teóricos establecidos en las normativas con los valores de resistencia reales que ofrecen los materiales innovadores que las empresas ofrecen para la construcción.

En el Ecuador se ha utilizado madera para desarrollar todo tipo de proyectos de construcción, los cuales han contribuido al desarrollo integral del sector y a la aplicación eficiente de este importante recurso, se sabe también que en el marco amplio que abarca la actividad de la construcción existen profesionales dedicados exclusivamente a trabajar con este rubro, han diseñado todo tipo de estructuras en madera, desde villas hasta coliseos, han generado empleo, han aportado al conocimiento y han atendiendo necesidades de la sociedad. Es así como de esta forma la madera se ha convertido en uno de los recursos estructurales por excelencia para la construcción en el Ecuador.

## **1.2.- Información General**

### **1.2.1.- Hipótesis**

La madera comercial de uso para la construcción distribuida por las empresas madereras más representativas de la ciudad de Quito cumple con la norma para su uso estructural.

### **1.2.2.- Objetivo general del proyecto:**

Determinar los parámetros de calidad del eucalipto, colorado y chanul que ofrecen las empresas madereras más representativas de la ciudad de Quito.

### **1.2.3.- Objetivos específicos del proyecto:**

- Definir las empresas distribuidoras más representativas.
- Determinar la resistencia estructural del Eucalipto bajo normas INEN.
- Determinar la resistencia estructural del Colorado bajo normas INEN.
- Determinar la resistencia estructural del Chanul bajo normas INEN.
- Establecer comparaciones de resistencia entre los tipos de madera ensayadas.

### **1.2.2.- Metas del proyecto:**

- Identificación de los parámetros para la compresión paralela y perpendicular entre el eucalipto, colorado y chanul.
- Determinación de la calidad estructural de las maderas ensayadas mediante el cumplimiento de la norma establecida.
- Establecimiento de la resistencia de las maderas ensayadas mediante el cumplimiento de la norma.
- Determinación de conclusiones y recomendaciones sobre la calidad de la madera comercial en la ciudad de Quito.



### **1.2.3- Importancia del proyecto**

La construcción es una de las actividades productivas que más dinamiza la economía en el Ecuador, así como una de las actividades que más aportan al desarrollo integral de la sociedad. Por esta y muchas razones más es de suma importancia que los materiales a utilizar sean de la más alta calidad posible, cumpliendo con las normas establecidas y con requerimientos útiles para el diseño estructural y la ejecución en obra.

Es importante que los materiales utilizados para construir tengan las resistencias necesarias y cumplan con la normativa establecida para que los proyectos de construcción sean de excelencia generando riqueza y empleo.

El consumidor de un servicio tiene derechos, que por ley deben ser cumplidos. Es así que las empresas madereras distribuidoras deben cumplir con resistencias que garanticen la seguridad y la calidad en sus productos. De esta manera los valores obtenidos en el cálculo estructural pueden estar en relación directa con las resistencias obtenidas del producto en la obra.

Muchos ingenieros, arquitectos, inversionistas y empresas dedicadas a la construcción desarrollan proyectos utilizando madera como elementos estructurales, esto significa que si la madera no cumple con la calidad requerida, la estructura en si colapsaría. La tecnología en la construcción presenta un avance constante a través del tiempo. Las técnicas innovadoras de construcción y los materiales utilizados cada vez tienden a optimizar recursos y potenciar resistencias. Las empresas madereras ofrecen sus productos y es de mucha importancia para el constructor conocerlos, saber que ofrecen, saber sus características técnicas, saber sobre su trato y mantenimiento. Este trabajo de investigación aporta al conocimiento abordando todos estos temas, para de esta manera tener certeza de la calidad de madera estructural que ofrecen las empresas más representativas de este rubro en la ciudad de Quito.

Siendo que la madera es un recurso con gran valor para la construcción es importante estudiarlo y saber tratarlo. Es decir, en tiempos actuales en los que se prioriza la producción a la conservación de los recursos, debe imperar la conciencia social y la sabiduría para explotar este recurso de tal manera que el impacto ambiental sea el menor posible (Ferrer, 1999).

Según Ferrer (1999) todo estudio que busque aprovechar con conciencia social las potencialidades de la madera para la construcción mediante explotaciones responsables es de gran importancia para la sociedad y el mundo, estableciendo una armonía entre la explotación de recursos y el cuidado del medio ambiente.

Existen empresas que disponen de lo último en innovación de la madera para la construcción, muchos ingenieros, arquitectos, empresarios, estarían muy interesados en la información de los productos que actualmente están en el mercado para aplicarlos a sus propios proyectos y contribuir a la evolución de la construcción en el Ecuador.

#### **1.2.4.- Datos de las empresas distribuidoras contactadas**

Las empresas madereras distribuidoras más representativas de la ciudad de Quito se establecen mediante su influencia actual en el ámbito de la construcción. La participación en asociaciones y las afiliaciones a las distintas organizaciones establecidas como la Cámara de la Construcción o la Cámara de Industria y Producción así como su participación en proyectos de carácter social mediante trabajos con el MIDUVI y el Ministerio del Medio Ambiente hacen de las siguientes empresas distribuidoras de madera las más representativas de la ciudad de Quito y sus periferias:

- **COMERCIAL MADERERO SAN JORGE**

**Dirección:** Sangolquí, Av. Juan Genaro Jaramillo y Olmedo.

**Teléfono:** 2331384 0999711202

**Correo electrónico:** [aserraderoycomercialsanjorge.amawebs.com](mailto:aserraderoycomercialsanjorge.amawebs.com)

**Sitio web:** [www.amarillasinternet.com](http://www.amarillasinternet.com) / [asesanjorge](http://asesanjorge)

- **ASERRADERO SAN FELIPE**

**Dirección:** Urbanización San Gabriel, Av. Ijaló y Río Corrientes, Valle de los Chillos vía al tingo cerca de la empresa CNT.

**Teléfono:** 2869238

**Correo electrónico:** [aserraderosanfelipe@gmail.com](mailto:aserraderosanfelipe@gmail.com)

**Sitio web:** [www.aserraderosanfelipe.amawebs.com](http://www.aserraderosanfelipe.amawebs.com)

### **1.2.5.- Datos de las empresas constructoras contactadas:**

Las empresas que construyen en madera más representativas de la ciudad de Quito se establecieron en base a estándares de participación en la actividad de la construcción. Estas empresas tienen registros en la Cámara de la Construcción, Cámara de Industria y Producción, Secretaría de Vivienda del MIDUVI y Ministerio del Medio Ambiente.

Con base en estas fuentes se definen a las empresas más representativas en las siguientes:

- **WOOD HOME CONSTRUCTORA**

**Dirección:** Vía Pintag, Pifo y Gualaceo esq. Sangolquí, Pichincha – Ecuador.

**Teléfono:** 0993302057

**Correo electrónico:** larsknoblauch@gmail.com

**Descripción general de la empresa:**

La empresa enfoca sus servicios en la construcción sismo resistente de casas y cabañas en madera tanto con el sistema de entramado horizontal como con el sistema modular. La empresa busca cumplir con parámetros de calidad como aislamiento acústico, resistencias funcionales, controles de temperatura, entre otros. Para los techos cuentan con varias opciones de viga y duela, todas en madera. Adicionalmente ofrecen estructuras complementarias de madera como decks cubiertos, decks descubiertos y pérgolas.

### 1.2.5.1 Galería de proyectos:



*Figura 1.* Casa de madera con piedra.



*Figura 2.* Casa de madera con pérgola.



*Figura 3.* Finca hecha de madera.



*Figura 4.* Cabaña de 1 piso hecha de madera.



*Figura 5.* Pérgola con vigas de madera.



*Figura 6.* Pérgola hecha de madera.

- **MADERCASA**

**Dirección:** Autopista General Rumiñahui a 100 metros del puente 1, Quito-Ecuador.

**Teléfono:** 3184070 0993464602

**Correo electrónico:** ventas@madercasa.com

**Descripción general de la empresa:**

Es una empresa centrada en la construcción exclusivamente de casas de madera priorizando la alta calidad en sus materiales. Desarrollan proyectos inmobiliarios de casas, cabañas, juegos infantiles, cubiertas y pérgolas de madera a nivel nacional. Buscan cumplir con excelencia, trabajan con responsabilidad ambiental, cumpliendo obligaciones patronales y estatales y entregando los trabajos en las fechas establecidas en el contrato.



*Figura 7.* Casa tipo 1 hecha de madera.



*Figura 8.* Casa tipo II hecha de madera.

### 1.3.- Oferta comercial

#### 1.3.1.- Tipos de maderas disponibles

- **Comercial Maderero San Jorge:**
- Pilares rústicos o cepillados de colorado (14x14 25x25) y eucalipto (18x15 15x15 25x25)



*Figura 9.* Pilares de colorado.

- Vigas rústicas o cepilladas de chanul (14 x5.5 1-7 metros), colorado (14x6 1-7 metros) y eucalipto (toda medida).



*Figura 10.* Vigas de Eucalipto.



*Figura 11.* Vigas de Colorado.

- Vigas aserradas a motosierra rústicas de eucalipto (1 – 5 metros), colorado (1 – 5 metros) y chanul (1 – 5 metros).





*Figura 12.* Vigas aserradas de Colorado.



*Figura 13.* Vigas aserradas de Chanul.

- Piezas cuadradas a hacha de eucalipto de 1 a 7 metros de largo.



**Figura 14.** Piezas de Eucalipto cuadradas con hacha.

- Tablones cepillados de 0.22 x 0.038 de 2.40 metros de largo y tablones rústicos de 0.24 x 0.04 x 2.40 metros de largo disponibles en las siguientes maderas:
  - Seike
  - Pino
  - Colorado manzano
  - Colorado fino
  - Mascarey
  - Laurel de la costa
  - Laurel del Oriente
  - Sangre de gallina (ordinario)
  - Guayacán
  - Copal
  - Canelo
  - Eucalipto
  
- Cuarterones de 0.15 x 0.04 de 2.40 metros de largo disponibles en los siguientes tipos de madera:
  - Seike
  - Pino
  - Colorado manzano
  - Colorado fino
  - Mascarey

- Laurel de la costa
- Laurel del Oriente
- Sangre de gallina (ordinario)
- Guayacán
- Copal
- Canelo
- Eucalipto
- Ciprés



**Figura 15.** Cuartones de madera apilados.

- Largueros de 0.12 x 0.04 de 2.40 metros de largo disponible en las siguientes maderas:
  - Seike
  - Pino
  - Colorado manzano
  - Colorado fino
  - Aliso
  - Laurel de la costa
  - Laurel del oriente
  - Sangre de gallina (ordinario)
  - Guayacán
  - Copal

- Canelo
- Bálsamo
- Eucalipto
- Cedro
- Ciprés



*Figura 16.* Langueros de maderas apiladas.

- Duelas machihembradas, biseladas y paneladas disponibles en las siguientes maderas:
  - Eucalipto
  - Colorado fino
  - Colorado manzano
  - Pino
  - Ciprés
  - Laurel
  - Seike
  - Chonta
  - Mascarey



*Figura 17.* Duelas de madera apiladas horizontalmente.



*Figura 18.* Duelas de madera apiladas verticalmente.

- Tablas cepilladas de 0.22 x 0.02 de 2.40 metros de largo disponibles en:
  - Eucalipto
  - Seike
  - Pino
  - Laurel de la costa
  - Laurel del oriente
  - Aliso
  - Colorado fino
  - Colorado manzano
  - Cedro
  - Guayacán

- Canelo
- Ciprés
- Copal
- Tabloncillo Chanul



*Figura 19.* Tablas de madera cepilladas y apiladas.

- Tablas de monte del oriente de 0.15 0.20 0.25



*Figura 20.* Tablas de monte.

- Dentro de la oferta comercial de la distribuidora también están molduras, cornisas, barandas, mangones, esquineros, alfajías rústicas, puntales y pingos.

- **Aserradero San Felipe:**
- Pilares y tablonés de colorado de 20x20 y de 14x14



*Figura 21.* Pilares de Colorado.

- Tablonés disponibles en las siguientes maderas:
  - Pino
  - Colorado manzano
  - Colorado fino
  - Laurel del oriente



*Figura 22.* Tablonés de Seike.

- La distribuidora también ofrece cuarterones de monte y sangre de gallina, tabloncillos en chanul, duelas en chanul, pisos en eucalipto y alfajás en eucalipto, laurel y pino.

### 1.3.2.- Costos y disponibilidad de los productos

- **Comercial Maderero San Jorge:**

**Tabla 1**

*Productos y características SJ.*

<b>PRODUCTO</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>COSTO</b>
Pilares rústicos de colorado	25x25 cm	\$40.00 / metro
Pilares rústicos de eucalipto	25x25 cm	\$30.00 / metro
Pilares rústicos de eucalipto	15x15 cm	\$12.00 / metro
Vigas de chanul	14 x 5.5 cm	\$13.00 / metro
Vigas de colorado	14 x 6 cm	\$5.50 / metro
Vigas de eucalipto	Toda medida	\$5.50 / metro
Tablones de seike	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$17.50 / u
Tablones de pino	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$10.00 / u
Tablones de colorado manzano	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$14.50 / u
Tablones de colorado fino	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$16.50 / u
Tablones de laurel de la costa	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$12.00 / u
Tablones de laurel del oriente	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$12.00 / u
Tablones de sangre de gallina	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$9.25 / u
Tablones de guayacán	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$30.00 / u
Tablones de canelo	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$11.00 / u
Tablones de eucalipto	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$12.00 / u
Cuartones de seike	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$11.66 / u
Cuartones de pino	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$6.66 / u
Cuartones de colorado manzano	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$9.66 / u
Cuartones de colorado fino	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$11.00 / u
Cuartones de laurel de la costa	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$8.00 / u
Cuartones de laurel del oriente	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$8.00 / u
Cuartones de sangre de gallina	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$6.16 / u
Cuartones de guayacán	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$20.00 / u
Cuartones de canelo	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$7.33 / u
Cuartones de eucalipto	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$8.00 / u
Tablas de eucalipto cepilladas	0.22 x 0.02 x 2.40 m	\$7.00 / u
Tablas de seike cepilladas	0.22 x 0.02 x 2.40 m	\$9.00 / u
Tablas de pino cepilladas	0.22 x 0.02 x 2.40 m	\$7.00 / u
Tablas de laurel de la costa cepilladas	0.22 x 0.02 x 2.40 m	\$7.00 / u
Tablas de laurel del oriente cepilladas	0.22 x 0.02 x 2.40 m	\$7.00 / u
Tablas de colorado fino cepilladas	0.22 x 0.02 x 2.40 m	\$8.50 / u

**Continúa**



<b>PRODUCTO</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>COSTO</b>
Tablas de monte del oriente	0.15 x 0.15 x 2.40 m	\$1.80 / u
Tablas de monte del oriente	0.20 x 0.20 x 2.40 m	\$2.20 / u
Tablas de monte del oriente	0.25 x 0.25 x 2.40 m	\$2.48 / u

- **Aserradero San Felipe:**

**Tabla 2**

*Productos y características SF.*

<b>PRODUCTO</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>COSTO</b>
Pilares rústicos de colorado	25 x 25 cm	\$40.00 / metro
Vigas de colorado	14 x 6 cm	\$5.04 / metro
Tablones de seike	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$16.80 / u
Tablones de pino	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$11.20 / u
Tablones de colorado manzano	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$14.00 / u
Tablones de colorado fino	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$16.80 / u
Tablones de laurel de la costa	0.24 x 0.04 x 2.40 m	\$11.20 / u
Cuartones de seike	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$11.20 / u
Cuartones de pino	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$7.46 / u
Cuartones de colorado manzano	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$9.33 / u
Cuartones de colorado fino	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$11.20 / u
Cuartones de laurel de la costa	0.15 x 0.04 x 2.40 m	\$7.46 / u
Largueros de seike	0.12 x 0.04 x 2.40 m	\$16.80 / u
Largueros de laurel del oriente	0.12 x 0.04 x 2.40 m	\$11.20 / u

#### 1.4.- Análisis comparativo de los servicios ofrecidos entre las empresas distribuidoras:

**Tabla 3**

*Calidad de los servicios ofrecidos*

<b>SERVICIOS OFRECIDOS</b>	<b>ASERRADERO SAN JORGE</b>	<b>ASERRADERO SAN FELIPE</b>
Variedad de productos	Muy Buena	Buena
Variedad de precios	Muy Buena	Buena
Productos innovadores	Muy Buena	Mala
Transporte	Buena	Buena
Almacenamiento	Muy Buena	Buena
Atención al cliente	Muy Buena	Muy Buena
Tecnología de corte	Muy Buena	Buena
Productos de mantenimiento	Muy Buena	Buena

## **CAPÍTULO 2**

### **CONCEPTOS Y DEFINICIONES**

#### **2.1.- La madera como material para la construcción**

El Ecuador ha buscado desde los años ochenta desarrollar la industria forestal renovable a través de su participación en el Proyecto Andino de Desarrollo Tecnológico en el Área de recursos Forestales, presentándose como miembro de la junta del Acuerdo de Cartagena que involucró países como Venezuela, Colombia, Bolivia y Perú. (N.E.C., 2011)

Según N.E.C. (2015) Lo que se ha buscado desde entonces es el estudio del recurso maderero, se ha establecido parámetros de explotación que no alteren de una manera drástica los ecosistemas. Los lineamientos de estudios básicamente buscan la conservación de los bosques nativos al aplicar normas de explotación responsables que aseguren el manejo sustentable del recurso. Dentro del manejo responsable del recurso, se sabe que en el país existe una gran cantidad de reservas de madera con especies que incluso no han sido estudiadas y que muestran potencial para servir como recurso estructural para la actividad de la construcción.

Existen lineamientos recomendados por diferentes organizaciones que apuntan a cuidar el recurso maderero, algunas de estas recomendaciones son regular la extracción en función de la productividad que presenta el bosque, regular la extracción de acuerdo a los ciclos productivos y la extracción para mantener las condiciones de biodiversidad de la zona. La madera a diferencia del acero y el hormigón tiene una composición orgánica que tiene que ser considerada en los diseños para un adecuado uso del recurso. Las propiedades que presentan aún dentro de la misma especie pueden variar debido a factores como el tamaño del árbol, el clima de la zona, la geografía de la zona, la temperatura, el nivel de precipitaciones entre otros. Si bien es cierto que la madera tiene propiedades mecánicas útiles, también hay que considerar que debido a su naturaleza orgánica esta presenta limitaciones como variabilidad natural, influencia en la estabilidad dimensional, deterioro por hongos y poco peso en las piezas.

La madera al ser diferente a materiales como el acero y el hormigón presenta diferentes resistencias, es decir, presenta diferentes esfuerzos admisibles que forman parte importante de las particularidades de construir con este recurso. Una importante limitación estructural de la

madera es la dificultad de construir uniones totalmente rígidas, esto se debe a las dimensiones limitadas de las piezas.

Dentro de las características funcionales de la madera como material para la construcción están su facilidad y rapidez para trabajarla, la facilidad de diferentes elementos de unión, facilidad de montajes de paneles pre cortados y los diversos grados de potencial industrial que posee. Los sistemas constructivos por lo general son modulares, basados en diseños coherentes que consideran las potencialidades resistentes y las limitaciones. Para un adecuado mantenimiento, se debe revisar periódicamente la estructura ya que debido al paso del tiempo se presentan deterioros que si no son controlados pueden causar efectos en la funcionalidad. Algunas de estas consideraciones son detectar los elementos que por vibraciones se hayan desajustado, cambiar los elementos deteriorados por condiciones climáticas, verificar la seguridad de las instalaciones eléctricas y en el caso de las construcciones con pilotes se debe revisar el apoyo homogéneo y la nivelación de la estructura.

## **2.2.- Conceptos matemáticos aplicativos**

### **2.2.1.- Esfuerzo normal de compresión**

El esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo en determinada dirección. (Rodríguez, 2005)

$$\sigma = -\frac{P}{A} \quad (ec.2.1)$$

Donde:

- $\sigma =$  *Esfuerzo último*
- $P =$  *Carga aplicada*
- $A =$  *Área transversal*

Según Rodríguez (2005) cuando un elemento se encuentra sometido a solicitaciones de carga externas, se produce entre otros efectos uno de compresión determinado esfuerzo normal de compresión. En el proyecto que se desarrolla el efecto visual de los resultados en laboratorio

juegan un papel muy importante en la observación física de los fenómenos que se producen en los ensayos a compresión del Chanul, Colorado y Eucalipto. Al considerar la naturaleza física de la madera, lo que se espera visualizar en los ensayos es una reducción del volumen de la madera una vez aplicadas las cargas durante un determinado periodo de tiempo. Se espera que la madera presente cambios controlados en su naturaleza física una vez aplicadas las cargas, observar estos cambios es fundamental debido a que brindan información del comportamiento estructural que están teniendo las distintas clases de madera que se ensayan.

No toda madera es apta para usar en la construcción, la capacidad de resistir esfuerzos de esta naturaleza sin tener afectaciones estructurales o teniendo afectaciones estructurales controladas definen la calidad de la madera y su funcionalidad dentro de la actividad de la construcción. La madera de calidad estructural comprobada tiene grandes alcances en el campo de la construcción de proyectos de todo tipo, actualmente uno de los edificios más grandes construidos exclusivamente con madera supera los 40 pisos.

### **2.2.2.- Módulo de elasticidad**

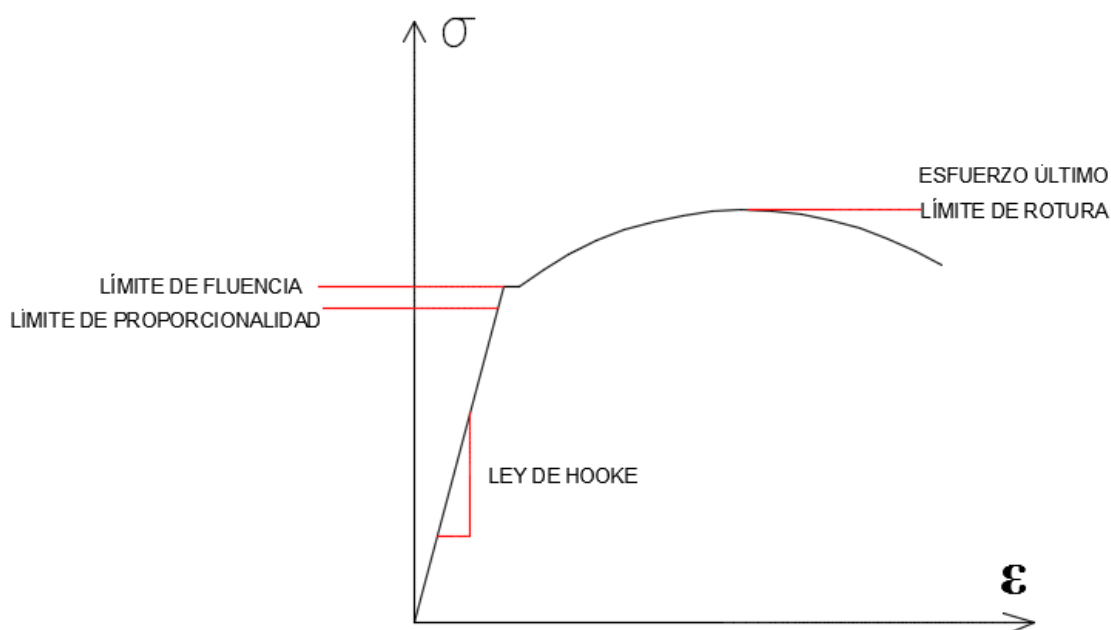
El módulo de elasticidad o módulo de Young es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de Young tiene el mismo valor para tracción que para compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, y es siempre mayor que cero. Si se tracciona una barra, aumenta de longitud, no disminuye. Este comportamiento fue observado y estudiado por el científico inglés Thomas Young.

Tanto el módulo de Young como el límite elástico son distintos para los diversos materiales. El módulo de elasticidad es una constante elástica que, al igual que el límite elástico, puede encontrarse empíricamente con base al ensayo de tracción del material. (Rodríguez, 2005)

En Rodríguez (2005) se presenta al módulo de Young como un parámetro fundamental para determinar las características elásticas de un material que se encuentra sometido a algún tipo de carga o sollicitación externa. Este módulo sirve de gran herramienta en la investigación de las características estructurales de las maderas que se ensayan en laboratorio. La deformación que puedan presentar las maderas en los ensayos de laboratorio determinará su capacidad

resistente, se pueden aceptar deformaciones dentro de rangos establecidos en los cuales la funcionalidad estructural del material o la capacidad resistente general de la estructura no se vean afectados. Parámetros como el módulo de elasticidad forman parte de un conjunto de importantes herramientas para definir la calidad de los materiales y caracterizarlos para su correcta funcionalidad en proyectos de construcción.

### 2.2.3.- Diagramas esfuerzo vs deformación unitaria



**Figura 23.** Diagrama teórico de esfuerzos vs deformaciones unitarias.

En la gráfica se puede apreciar la proporcionalidad que se define en la ley de Hooke así como el rango elástico del material sometido a sollicitaciones de carga externas. Dentro del rango elástico si la carga se deja de aplicar el material regresa a las condiciones iniciales sin sufrir ninguna deformación, una vez pasado el rango elástico si se deja de aplicar la carga el material conservará las deformaciones adquiridas durante la aplicación de la carga. El valor más alto que alcanza el esfuerzo antes de fallar el material se denomina esfuerzo último o esfuerzo de rotura, una vez pasado este esfuerzo se considera que el material se ha roto o ha fallado debido a la aplicación de carga. El diagrama esfuerzo vs deformación unitaria nos indica

el comportamiento de un material sometido a solicitaciones externas a través del análisis de cuanto se deforma en relación al aumento de carga que se aplica.

Si el material es considerado para uso estructural, deberá resistir solicitaciones de carga establecidas en el diseño del proyecto, esta capacidad resistente se estudia previamente aplicando ensayos establecidos en normas que definen la calidad del material y su aptitud para cumplir con todos los requerimientos estructurales que los proyectos demanden. Los diagramas obtenidos de los ensayos sirven como una útil herramienta para analizar resistencias y categorizar materiales dentro de parámetros de calidad y funcionalidad que finalmente sirvan al desarrollo de grandes proyectos tanto públicos como privados.

#### **2.2.4.- Ley de Hooke**

En física, la ley de elasticidad de Hooke o ley de Hooke, originalmente formulada para casos del estiramiento longitudinal, establece que el alargamiento unitario que experimenta un material elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada  $F$ .

Esta ley recibe su nombre de Robert Hooke, físico británico contemporáneo de Isaac Newton, y contribuyente prolífico de la arquitectura. Esta ley comprende numerosas disciplinas, siendo utilizada en ingeniería y construcción, así como en la ciencia de los materiales. La ley funciona dentro del rango elástico del material. (Mott, 2009)

En Mott (2009) se expresa una relación matemática conocida como la ley de Hooke que relaciona las deformaciones unitarias y la fuerza que se aplica en el material, expresa que dentro del rango elástico la relación es directamente proporcional, es decir, la deformación unitaria del material aumenta en la misma proporción en la que aumenta la fuerza que está siendo aplicada. Se tienen las siguientes definiciones para un análisis matemático:

- $\varepsilon = \text{Deformación unitaria}$
- $\delta = \text{Alargamiento}$
- $L = \text{Longitud original}$
- $F = \text{Fuerza aplicada}$
- $E = \text{Módulo de elasticidad}$
- $A = \text{Sección transversal del material}$

Las deformaciones unitarias para el efecto se definen matemáticamente de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (\text{ec. 2.2})$$

$$\varepsilon = \frac{F}{A * E} \quad (\text{ec. 2.3})$$

Al igualar las ecuaciones se aplica matemáticamente la ley de Hooke y se tiene:

$$\frac{\delta}{L} = \frac{F}{A * E} \quad (\text{ec. 2.4})$$

En esta igualdad matemática obtenida podemos observar cómo se relacionan matemáticamente las variables dentro del efecto del rango elástico.

Si definimos al esfuerzo como carga sobre área matemáticamente en la relación se tiene:

$$\frac{F}{A} = \sigma \quad (\text{ec. 2.5})$$

$$\sigma = \varepsilon * E \quad (\text{ec. 2.6})$$

Se concluye matemáticamente que el esfuerzo en el material es igual a la deformación unitaria multiplicada por el módulo de elasticidad.

### 2.2.5.- Deformación unitaria

La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica. La magnitud más simple para medir la deformación es lo que en ingeniería se llama deformación axial o deformación unitaria se define como el cambio de longitud por unidad de longitud:

$$\varepsilon = \frac{\Delta s}{s} = \frac{s' - s}{s} \quad (\text{ec. 2.7})$$



Donde  $s$  es la longitud inicial de la zona en estudio y  $s'$  la longitud final o deformada. Es útil para expresar los cambios de longitud de un cable o un prisma mecánico. (Ferrer, 1999)

Según Ferrer (1999) podemos medir la deformación que provoca la acción de una carga determinada sobre un material mediante la deformación unitaria lo que para efecto de la investigación sirve como una útil variable para analizar la calidad estructural del Eucalipto, Chanul y Colorado. Este concepto matemático expresa la deformación como una relación entre la longitud inicial u original de la madera y la longitud final o deformada de la misma. Mediante un análisis de los valores de deformaciones unitarias obtenidas en laboratorio se establecen parámetros de resistencia para una mejor funcionalidad en obra.

### 2.2.6.- Deformación unitaria porcentual

Se define a la deformación unitaria porcentual como una variable que se expresa en porcentaje y que tiene relación con la longitud original y la longitud deformada del elemento ensayado. Para la investigación marca una importante pauta en el análisis de la resistencia estructural del Eucalipto, Chanul y Colorado a sollicitaciones de carga externas.

$$\varepsilon\% = \frac{s' - s}{s} * 100 \quad (ec. 2.8)$$

### 2.2.7.- Esfuerzos en planos inclinados

En los esfuerzos para planos inclinados existen tensiones repartidas uniformemente, cuya resultante ha de ser igual a  $F$ .

Su valor será:

$$\frac{F}{A'} = \frac{F}{\frac{A}{\cos \varphi}} = \frac{F * \cos \varphi}{A} \quad (ec. 2.9)$$

Donde definimos las siguientes variables:

A: Superficie de la sección transversal normal

$A'$ : Superficie de la sección inclinada

$$A = A' * \text{Cos } \varphi \quad (\text{ec. 2.10})$$

$$A' = \frac{A}{\text{Cos } \varphi} \quad (\text{ec. 2.11})$$

El esfuerzo total se puede descomponer en esfuerzos normales y cortantes:

$$N = F * \text{Cos } \varphi \quad (\text{ec. 2.12})$$

$$Q = F * \text{Sen } \varphi \quad (\text{ec. 2.13})$$

Por tanto, se tendrán tensiones normales a la sección inclinada y tensiones cortantes en la sección inclinada. Se analizan matemáticamente los esfuerzos con remplazos para llegar a definiciones teóricas de esfuerzos normales y cortantes. Los esfuerzos establecen el efecto que está teniendo la carga en el material, relacionando este efecto con el ángulo de rotura en la falla del material que para el efecto de esta investigación es madera. Las expresiones para los distintos ángulos muestran el comportamiento matemático de las secciones en planos inclinados de tal manera que se pueda establecer un rango o un horizonte en el cual se definan las características estructurales de las maderas tratadas en la investigación.

$$\sigma = \frac{N}{A'} = \frac{F * \text{Cos } \varphi}{\frac{A}{\text{Cos } \varphi}} = \frac{F}{A} * \text{Cos}^2 \varphi \quad (\text{ec. 2.14})$$

$$\tau = \frac{Q}{A'} = \frac{F * \text{Sen } \varphi}{\frac{A}{\text{Cos } \varphi}} = \frac{F}{A} * \text{Sen } \varphi * \text{Cos } \varphi \quad (\text{ec. 2.15})$$

Simplificando tenemos:

$$\sigma = \frac{F}{A} * \text{Cos}^2 \varphi \quad (\text{ec. 2.16})$$

$$\tau = \frac{F}{2 * A} * \text{Sen } 2\varphi \quad (\text{ec. 2.17})$$

### 2.2.8.- Esfuerzos admisibles

Los esfuerzos admisibles consideran un factor de seguridad establecido de acuerdo a los criterios tradicionales para lograr un comportamiento dentro del rango elástico del material y tomando en cuenta que las cargas actuantes se estiman en su valor real, es decir, sin factorar. Los esfuerzos admisibles presentados en la siguiente tabla están basados en resultados obtenidos en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (ANDINO, 1984).

**Tabla 4**

*Esfuerzos teóricos resistentes a compresión por grupo.*

<b>GRUPO</b>	<b>Compresión paralela <math>f_c</math></b>	<b>Compresión perpendicular <math>f_c</math></b>
A	145 Kg/cm <sup>2</sup>	40 Kg/cm <sup>2</sup>
B	110 Kg/cm <sup>2</sup>	28 Kg/cm <sup>2</sup>
C	80 Kg/cm <sup>2</sup>	15 Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente.- Manual de diseño para maderas del Grupo Andino.

Según Ferrer (1999) se puede categorizar a la madera por grupo de tal manera que sus resistencias a la compresión tanto paralela como perpendicular a las fibras cumplan con los requerimientos estructurales dentro de un margen de seguridad. La categorización básicamente tiene tres categorías las cuales tienen cada una su parámetro de referencia respecto a las resistencias que soportan tanto paralela como perpendicularmente. Para el diseño de elementos estructurales en madera se toma para el cálculo estructural los valores establecidos en este tipo de categorizaciones, por lo que es fundamental que los valores de resistencias a los que pueda llegar la madera comercial sean lo más cercanos a los que se tienen establecidos como referencias de cálculo en las normas.

La (Norma Técnica Colombiana) considera como esfuerzo último de aplastamiento al esfuerzo que se genera de la compresión paralela a las fibras y como esfuerzo al límite de proporcionalidad al esfuerzo que se genera de la compresión perpendicular a las fibras. Los esfuerzos teóricos admisibles o esfuerzos de diseño que plantea como referencia la (Norma Técnica Colombiana) son calculados mediante la modificación de los esfuerzos últimos mediante factores de reducción de carga definidos de la siguiente manera:

- F.C. = Factor de reducción de calidad
- F.T. = Factor de reducción por tamaño
- F.S. = Factor de servicio y seguridad
- F.D.C. = Factor de duración de carga

$$Esfuerzo\ admisible = Esfuerzo\ último * \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} \quad (ec.2.18)$$

### 2.2.9.- Factores de reducción por calidad, servicio, seguridad y tamaño

#### Factor de reducción por calidad, F.C.

Para establecer este factor los expertos ensayaron vigas a escala natural para determinar un factor de reducción de resistencia por defectos y por tamaño. Estas vigas fueron de 4cm x 14cm de sección transversal con luces entre 2,60 y 3,20m. Por comparación entre la resistencia obtenida en vigas y en probetas pequeñas libres de defectos, se obtuvieron valores del Factor de Calidad F.C. para cada especie. Se efectuaron numerosos estudios estadísticos para la variación del F.C. en cada grupo estructural, adoptándose un factor 0.8 igual para todos los grupos. (Ruiz, 2004)

$$F.C. = \frac{MOR\ vigas}{MOR\ probetas} \quad (ec.2.19)$$

Según Cervera (2004) el factor de reducción por calidad F.C. solo se aplica para efectos de comparación entre elementos estructurales de madera ensayados en tamaño real y probetas de la misma especie. Para efecto de la investigación que se presenta no aplica este factor o es decir sería igual a 1 debido a que se ensayará la madera únicamente en probetas y no a tamaño real de algún elemento estructural diseñado.

#### Factor de servicio y seguridad, F.S.

Como el diseño se efectúa para condiciones de servicio, los esfuerzos últimos deben ser reducidos también a estas condiciones por debajo del límite de proporcionalidad. Esto garantiza

un comportamiento adecuado de las estructuras en condiciones normales, así como la validez por lo menos aproximada de las hipótesis de comportamiento lineal y elástico. (Ferrer, 1999)

En Ferrer (1999) se plantea que el adecuado comportamiento de un material sometido a condiciones de servicio dependerá de la aplicación de un factor que considere las condiciones variables que pueden presentarse al afectar a la resistencia del material. Si se considera una resistencia por debajo del límite proporcional se garantiza que debido al margen de seguridad que el factor produce, el material tendrá un comportamiento estructuralmente adecuado al ser capaz de resistir esfuerzos tanto con capacidades dentro del rango lineal así como con capacidades dentro del rango elástico. El factor considera situaciones de servicio y seguridad que tienen que ver con la confiabilidad de los ensayos de resistencia, la presencia de defectos en la madera no detectados en la clasificación visual, el sobre esfuerzo del material, las dimensiones reales con relación a las dimensiones supuestas en el análisis de los diseños, el desgaste de la madera a través del uso en el tiempo, la calidad de mano de obra contratada para construir.

Se analiza la aplicación del factor F.S. mediante la caracterización de las solicitaciones a la que está expuesto el material, así se puede mantener un margen de seguridad en función de las condiciones que el proyecto de construcción demande. No todos los proyectos son iguales, las variaciones se presentan desde el diseño estructural hasta el clima que al que los materiales estarían expuestos, por esto, es importante realizar un análisis que identifique y caracterice las solicitaciones que más desgasten al material.

### **Factor de reducción por tamaño, F.T.**

El factor de reducción por tamaño se aplica básicamente a esfuerzos que influyen en la rotura mediante tracción paralela a las fibras de la madera, en lo que tiene que ver con los esfuerzos de compresión paralela y compresión perpendicular a las fibras influye de una manera mínima. Se deben tener en cuenta las condiciones de carga en las que se está analizando el material. Ferrer (1999).

### **Factor de duración de carga, F.D.C**

Los esfuerzos de rotura de la madera disminuyen con la duración de la aplicación de la carga. Para niveles de esfuerzos correspondientes al límite de exclusión del 5%, la reducción encontrada es del orden del 14%. Para esfuerzos del orden de los esfuerzos admisibles es razonable esperar reducciones aún menores, de ahí que algunos investigadores propongan su eliminación definitiva. (Jaramillo, 2017).

Según Jaramillo (2017) el esfuerzo de rotura de la madera se ve afectado en su calidad en medida de la duración de la aplicación de la carga. La calidad resistente de la madera se ve afectada mediante una reducción en el valor del esfuerzo de rotura. Al tener en cuenta esta reducción de resistencia el factor busca mantener la funcionalidad del material a pesar del fenómeno de reducción de resistencia que se pueda producir.

**Tabla 5**

*Factores de reducción.*

	<b>Compresión paralela</b>	<b>Compresión perpendicular</b>
<b>FC</b>	1,00	1,00
<b>FT</b>	1,00	1,00
<b>FS</b>	1,60	1,60
<b>FDC</b>	1,25	1,00

Fuente.- Jaramillo (2017)

## CAPÍTULO 3

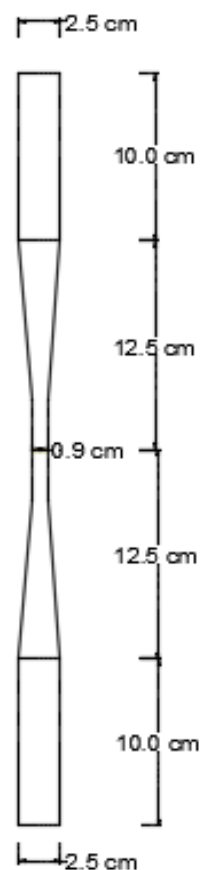
### ENSAYOS DE LABORATORIO

#### 3.1.- Procedimientos de ensayo

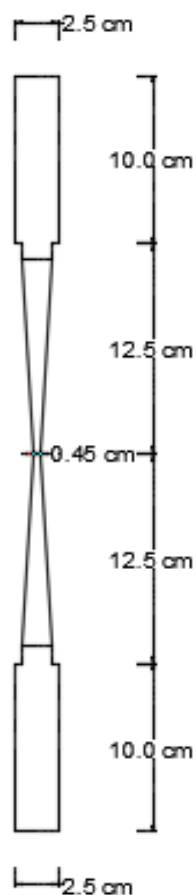
##### 3.1.1.- Metodología para el ensayo de tracción paralelo a las fibras

La norma utilizada es (Norma Técnica Colombiana NTC 944 ) para la determinación de la tracción paralela al grano. Lo que se busca en el ensayo es obtener el esfuerzo máximo y el esfuerzo al límite de proporcionalidad. Estos parámetros son fundamentales para el análisis de la resistencia de las diferentes maderas a ensayar en el proyecto.

Respecto a las dimensiones de las probetas, la norma establece las siguientes:



**Figura 24.** Probeta de ensayo para tracción paralela a las fibras  
Fuente.- (Norma Técnica Colombiana NTC 944 )



**Figura 25.** Probeta de ensayo para tracción paralela a las fibras  
Fuente.- (Norma Técnica Colombiana NTC 944 )

Las probetas se elaboran de tal manera que la dirección de las fibras en la zona reducida sea perpendicular a la mayor dimensión de dicha sección.

Respecto a los aparatos de laboratorio se utiliza una presa que tenga una cruceta fija, una cruceta móvil y un mecanismo que permita regular la velocidad a la que funciona la cruceta móvil. Se utiliza también una mordaza que consta de dos piezas las cuales se ajustan la una a la cruceta móvil y la otra a la cruceta fija.

### **Procedimiento:**

Se colocan las probetas de tal manera que la cruceta móvil se desplace a una velocidad de  $1 \pm 0.25$  mm / min y la cruceta fija se mantenga inmóvil de modo que las mordazas tiendan a separarse. Con el extensómetro se trazan para cada probeta ensayada una curva de carga vs deformación, el extensómetro se debe colocar sobre las caras radiales de la probeta de tal forma



que el punto medio de la separación de las cuchillas coincida con el punto medio de la probeta. El ensayo continua hasta que se rompa la probeta, registrando lecturas de deformaciones con una precisión de 0.002 mm.

El esfuerzo máximo que resiste la probeta ensayada según la (Norma Técnica Colombiana NTC 944 ) se calcula con la siguiente ecuación:

$$EM = \frac{P}{A} \text{ ec. (3.1)}$$

Donde:

- $EM =$  *Esfuerzo máximo*
- $P =$  *Carga máxima soportada por la probeta en newtons*
- $A =$  *Área de la sección mínima de la probeta en cm<sup>2</sup>*

El esfuerzo al límite de proporcionalidad de la probeta ensayada según la (Norma Técnica Colombiana NTC 944 ) se calcula con la siguiente ecuación:

$$ELP = \frac{P1}{A} \text{ ec. (3.2)}$$

Donde:

- $ELP =$  *Esfuerzo al límite de proporcionalidad*
- $P1 =$  *Carga al límite de proporcionalidad en newtons*
- $A =$  *Área de la sección mínima de la probeta en cm<sup>2</sup>*

El módulo de elasticidad de la probeta ensayada según la (Norma Técnica Colombiana NTC 944 ) se calcula con la siguiente ecuación:

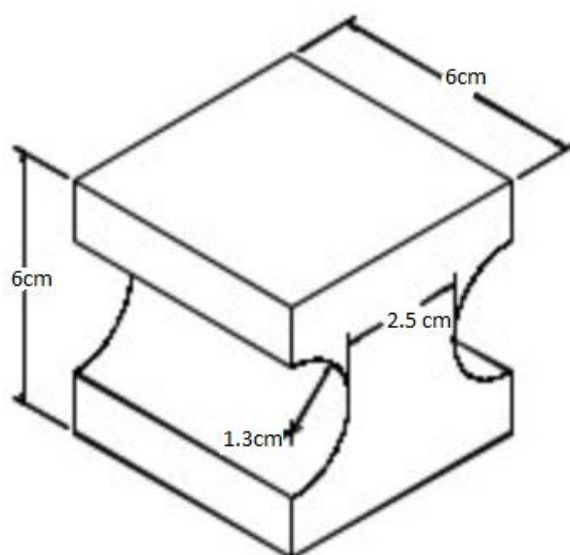
$$MOE = \frac{P2 * l}{A * d} \text{ ec. (3.3)}$$

Donde:

- $MOE =$  *Módulo de elasticidad*
- $P2 =$  *Carga debajo del límite de proporcionalidad en newtons*
- $l =$  *Luz entre las cuchillas de las abrazaderas del extensómetro en cm.*
- $A =$  *Área de la sección mínima de la probeta en cm<sup>2</sup>*
- $d =$  *Deformación de las probetas en cm.*

### 3.1.2.- Metodología para el ensayo de tracción perpendicular a las fibras

La norma utilizada es (Norma Técnica Colombiana NTC 961) para la determinación de la tracción perpendicular al grano. Lo que se busca en el ensayo es obtener el esfuerzo máximo a la tracción perpendicular, parámetro fundamental para el análisis de la resistencia de las diferentes maderas a ensayar en el proyecto. Las probetas se ensayan en estado verde y con un contenido de humedad del 12%. Respecto a las dimensiones de las probetas, la norma establece las siguientes:



**Figura 26.** Probeta de ensayo para tracción perpendicular a las fibras  
Fuente.- (Norma Técnica Colombiana NTC 961)

#### **Procedimiento:**

Se colocan las probetas de tal forma que la cruceta móvil tenga una velocidad de 2.5 mm / min  $\pm$  0.6 mm / min, continuando con el ensayo hasta que la probeta se rompa. Para máquinas de tipo mecánico, la velocidad especificada corresponde a la velocidad del cabezal sin carga. Para máquinas de tipo hidráulico esta velocidad corresponderá a la velocidad del cabezal con carga. Antes de que se produzca la rotura se debe apuntar la carga máxima en newtons soportada por la probeta.

El esfuerzo máximo a la tracción perpendicular al grano se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$ETP = \frac{P}{A} \text{ ec. (3.4)}$$

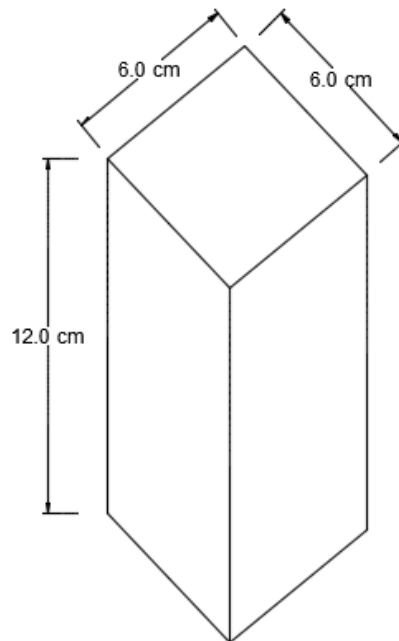
Donde:

- *ETP = Esfuerzo máximo a la tracción perpendicular en N/cm<sup>2</sup>*
- *P = Carga máxima soportada por la probeta en newtons*
- *A = Área de la sección mínima de la probeta en cm<sup>2</sup>*

### **3.1.3.- Metodología para el ensayo de compresión paralela a las fibras**

La norma utilizada es la (Norma Técnica Colombiana) para la determinación de la compresión de la probeta de madera con la carga aplicada en forma paralela a las fibras. Lo que se busca en el ensayo es obtener el esfuerzo máximo admisible a la compresión que resiste la madera ensayada. Se toman datos de fuerza y desplazamiento, se apunta cuanto se comprimió el material cada 1000 Kg. En el plano de falla, en la dirección paralela a este se analiza el esfuerzo cortante y en la dirección perpendicular al plano de falla se analiza el esfuerzo normal. Los cálculos de estos esfuerzos se realizan a través del ángulo de falla. El ensayo busca definir las curvas de esfuerzo vs deformación unitaria del material y su módulo de elasticidad.

Respecto a las dimensiones de las probetas, la norma establece las siguientes:



**Figura 27.** Probeta de ensayo para compresión paralela a las fibras  
Fuente.- Norma Técnica Colombiana NTC

Los equipos a utilizar en el ensayo de compresión paralela a las fibras son los siguientes:



**Figura 28.** Calibrador de rey



*Figura 29.* Prensa hidráulica



*Figura 30.* Flexómetro



*Figura 31.* Deformímetro

**Procedimiento:**

Se mide la longitud inicial y la sección transversal de la muestra, se coloca la probeta en la prensa de compresión, se aplica la carga axial a la probeta hasta que esta falle por compresión, se coloca el comparador del reloj para medir el acortamiento, se registran los valores de fuerza y acortamiento, se registran los diagramas de fuerza vs deformación y se calculan los diagramas de esfuerzo vs deformación unitaria.

Para los cálculos la (Norma Técnica Colombiana) establece las siguientes fórmulas:

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ ec. (3.5)}$$

Donde:

- $\sigma = \text{Esfuerzo último}$
- $P = \text{Carga aplicada}$
- $A = \text{Área transversal}$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} \text{ ec. (3.6)}$$

Donde:

- $\varepsilon = \text{Deformación unitaria}$
- $\delta = \text{Deformación}$
- $L_0 = \text{Longitud inicial}$

$$\sigma_a = E * \varepsilon \text{ ec. (3.7)}$$

Donde:

- $\sigma_a = \text{Esfuerzo admisible}$
- $E = \text{Módulo de elasticidad}$
- $\varepsilon = \text{Deformación unitaria}$

$$\sigma_n = \sigma * \text{Cos}^2\theta \text{ ec. (3.8)}$$

Donde:

- $\sigma_n = \text{Esfuerzo normal}$
- $\sigma = \text{Esfuerzo último}$
- $\theta = \text{Ángulo de falla}$

$$\tau = \frac{\sigma}{2} * \text{Sen}2\theta \text{ ec. (3.9)}$$

Donde:

- $\tau = \text{Esfuerzo cortante}$
- $\sigma = \text{Esfuerzo último}$
- $\theta = \text{Ángulo de falla}$

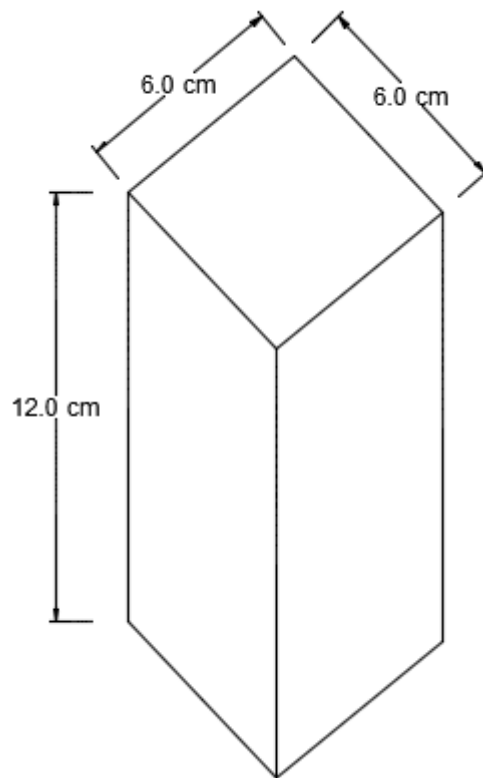
### 3.1.4.- Metodología para el ensayo de compresión perpendicular a las fibras

La norma utilizada es (Norma Técnica Colombiana NTC 944 ) la para la determinación de la compresión de la probeta de madera con la carga aplicada en forma perpendicular a las fibras. Lo que se busca con el ensayo es conocer que fuerza es necesaria para que la placa penetre 3mm. Se mide la fuerza cada centésima de pulgada. El área de contacto corresponde también al área de la placa. Se calcula el esfuerzo admisible y los diagramas de esfuerzo vs deformación unitaria.



**Figura 32.** Placa

Respecto a las dimensiones de las probetas, la norma establece las siguientes:



**Figura 33.** Probeta de ensayo para compresión perpendicular a las fibras  
Fuente.- Norma Técnica Colombiana NTC

### **Procedimiento:**

Se mide la sección transversal y la longitud inicial de la muestra, se mide el ancho de la placa, se marca la zona central de la probeta donde se colocará la placa, se coloca la probeta en la prensa de compresión, se aplica la carga axial cada centésima de pulgada hasta que la placa se inserte 3mm en la probeta, se mide la carga última correspondiente a esta deformación, se registran los diagramas de fuerza vs desplazamiento y se calculan los diagramas de esfuerzo vs deformación unitaria mediante la ec. (3.5) y la ec. (3.6)

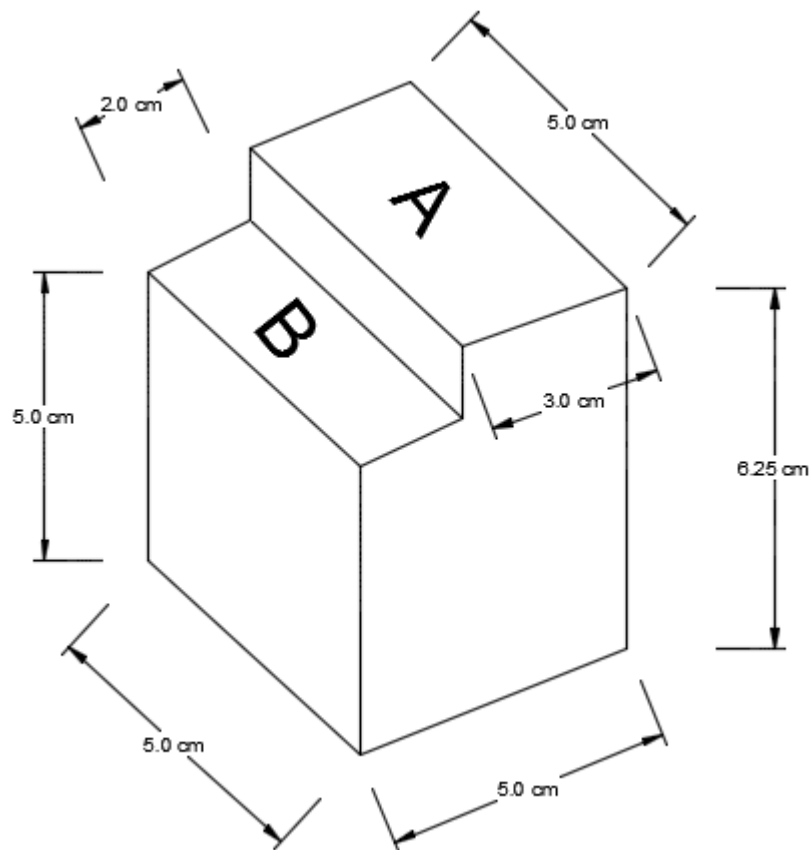
### **3.1.5.- Metodología para el ensayo de cizallamiento**

La norma utilizada es (Norma Técnica Colombiana NTC 775) para la determinación de la resistencia de la madera al cizallamiento paralelo al grano. Lo que se busca en el ensayo es obtener el esfuerzo máximo al cizallamiento, parámetro fundamental para el análisis de la



resistencia de las diferentes maderas a ensayar en el proyecto. Las probetas se ensayan en estado verde y con un contenido de humedad del 12%.

Respecto a las dimensiones de las probetas, la norma establece lo siguiente:



**Figura 34.** Probeta de ensayo para cizallamiento  
Fuente.- (Norma Técnica Colombiana NTC 775)

Para el ensayo se toman 2 probetas de 5 cm x 5 cm x 6.25 cm recortadas con las caras que se muestra en la Fig.34. Las superficies A y B deben ser perpendiculares al grano. Una de las dos probetas se debe cortar de tal forma que el plano de falla sea tangente a los anillos de crecimiento y en la otra se debe considerar que el plano de falla sea perpendicular a los anillos de crecimiento. Respecto a los aparatos, se utiliza una prensa capaz de aplicar una carga de presión superior a 2000 Kgf, la prensa debe estar provista de 2 crucetas, la una fija y la otra móvil. También se debe contar con un mecanismo que varíe la velocidad de la cruceta móvil. Se monta un dispositivo de cizallamiento el cual cuenta con una pieza central móvil unida a la cruceta superior de la prensa, la cual adentro lleva una cizalla libre que se mueve en forma de semicírculo.

**Procedimiento:**

La probeta se coloca en el dispositivo de cizallamiento de tal forma que la cara de sección de 5 x 5 cm quede en la posición paralela a la pieza móvil y que la superficie B reciba la presión de cizalla. Se debe considerar que la probeta debe quedar fuertemente asegurada al accesorio por medio de un par de tornillos que ejerzan presión sobre la cara A y ligeramente ajustada entre otros dos tornillos colocados próximos al asiento de la probeta. Entre el plano de falla de la probeta ensayada y la cizalla se debe dejar un espacio de 3 mm. La carga debe aplicarse continuamente durante todo el ensayo de tal manera que la cizalla se desplace a una velocidad de 0.6 mm / min. Se registra únicamente la carga máxima.

Según la (Norma Técnica Colombiana NTC 775) la resistencia máxima de la probeta de madera sometida a cizallamiento se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{cz} = \frac{P}{S} \quad (\text{ec. 3.10})$$

Donde:

- $\sigma_{cz}$  = Resistencia máxima de rotura en por cizalla en Kgf por  $\text{cm}^2$
- $P$  = Carga máxima de rotura en Kgf
- $S$  = Superficie de cizalladura

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

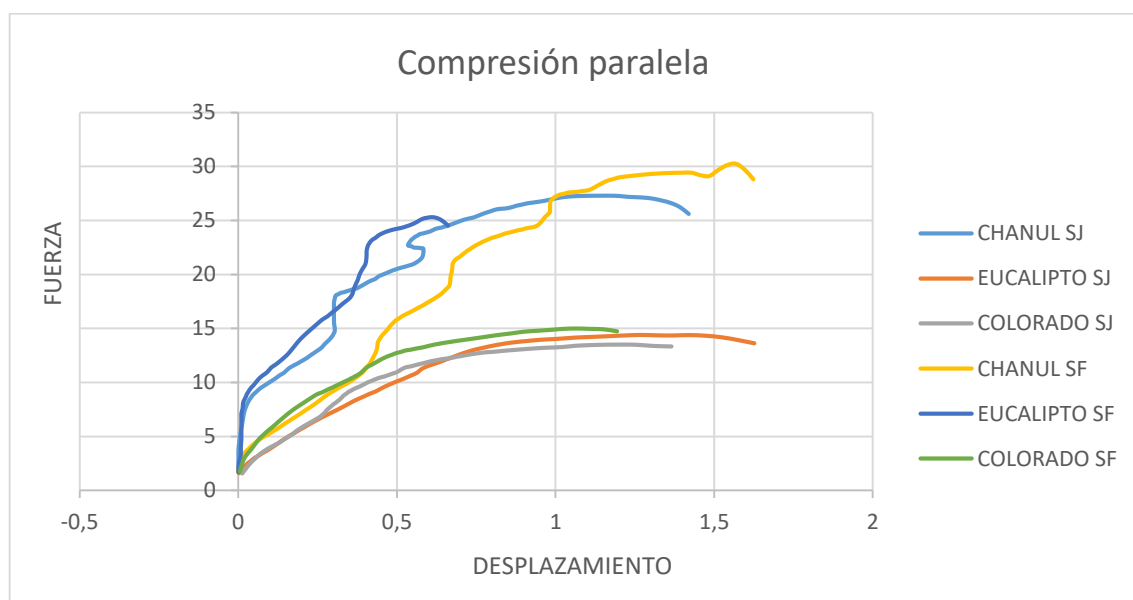
#### 4.1.- Datos obtenidos

##### 4.1.1.- Compresión paralela a las fibras

**Tabla 6**

*Resultados compresión paralela a las fibras*

COMERCIAL SAN JORGE		
Tipo de madera	Fuerza Máxima (T)	Desplazamiento máximo (mm)
Chanul	27,29	1,14
Eucalipto	14,40	1,26
Colorado	13,51	1,20
COMERCIAL SAN FELIPE		
Tipo de madera	Fuerza Máxima (T)	Desplazamiento máximo (mm)
Chanul	30,25	1,56
Eucalipto	25,30	0,60
Colorado	14,98	1,07



**Figura 35.** Comportamiento de las maderas a compresión paralela

La madera que presenta la mayor resistencia a la compresión paralela es el Chanul del Aserradero San Felipe con 30.25 T seguido del Chanul del Aserradero San Jorge con 27.29 T.

En tercer lugar de capacidad resistente está el Eucalipto del Aserradero San Felipe con 25.30 T seguido en cuarto lugar por el Colorado del Aserradero San Felipe con 14.98 T. La madera que presenta la menor capacidad resistente es el Colorado del Aserradero San Jorge con 13.51 T y en penúltimo lugar en resistencia está el Eucalipto del Aserradero San Jorge con 14.40 T.

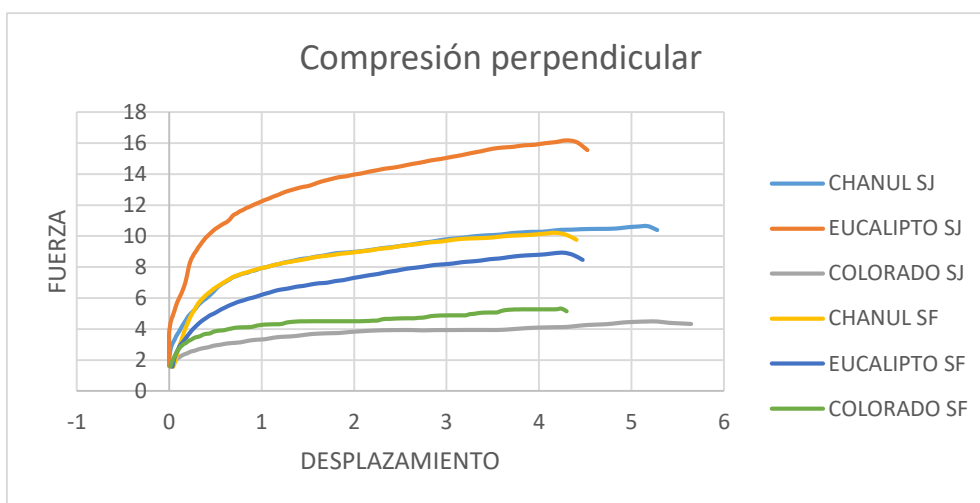
El Chanul del Aserradero San Felipe con 30.25 T presenta mayor capacidad resistente a la compresión paralela a las fibras que el Chanul del Aserradero San Jorge que resiste 27.29 T. El Eucalipto del Aserradero San Felipe con 25.30 T tiene mayor capacidad resistente que el Eucalipto del Aserradero San Jorge que tiene una resistencia de 14.40 T. El Colorado del Aserradero San Felipe con 14.98 T resiste más las sollicitaciones de carga que el Colorado del Aserradero San Jorge que presenta una resistencia de 13.51 T.

#### 4.1.2.- Compresión perpendicular a las fibras

**Tabla 7**

*Resultados compresión perpendicular a las fibras*

<b>COMERCIAL SAN JORGE</b>		
<b>Tipo de madera</b>	<b>Fuerza Máxima (T)</b>	<b>Desplazamiento máximo (mm)</b>
Chanul	9,81	3,00
Eucalipto	15,11	3,00
Colorado	3,93	3,00
<b>COMERCIAL SAN FELIPE</b>		
<b>Tipo de madera</b>	<b>Fuerza Máxima (T)</b>	<b>Desplazamiento máximo (mm)</b>
Chanul	9,65	3,00
Eucalipto	8,23	3,00
Colorado	4,88	3,00



**Figura 36.** Comportamiento de las maderas a compresión perpendicular

La madera que presenta la mayor resistencia a la compresión perpendicular a las fibras es el Eucalipto del Aserradero San Jorge con 15.11 T seguido del Chanul del Aserradero San Jorge con 9.81 T. En tercer lugar de capacidad resistente está el Chanul del Aserradero San Felipe con 9.65 T seguido en cuarto lugar por el Eucalipto del Aserradero San Felipe con 8.23 T. La madera que presenta la menor capacidad resistente es el Colorado del Aserradero San Jorge con 3.93 T y en penúltimo lugar en resistencia está el Colorado del Aserradero San Felipe con 4.88 T.

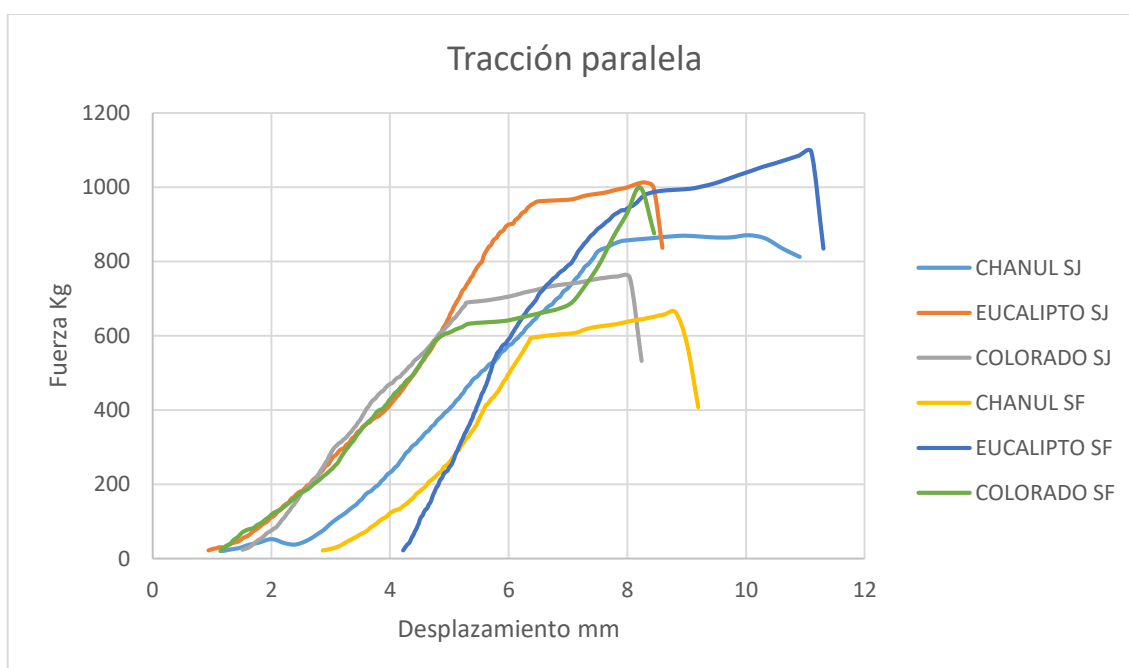
El Chanul del Aserradero San Jorge con 9.81 T presenta mayor capacidad resistente a la compresión perpendicular a las fibras que el Chanul del Aserradero San Felipe con 9.65 T. El Eucalipto del Aserradero San Jorge con 15.11 T tiene mayor capacidad resistente que el Eucalipto del Aserradero San Felipe con 8.23 T. El Colorado del Aserradero San Felipe con 4.88 T resiste más las sollicitaciones de carga que el Colorado del Aserradero San Jorge con 3,93 T.

### 4.1.3.- Tracción paralela a las fibras

**Tabla 8**

*Resultados tracción paralela a las fibras*

COMERCIAL SAN JORGE		
Tipo de madera	Fuerza Máxima (Kg)	Desplazamiento máximo (mm)
Chanul	870,86	10,03
Eucalipto	1012,45	8,29
Colorado	760,02	7,84
COMERCIAL SAN FELIPE		
Tipo de madera	Fuerza Máxima (Kg)	Desplazamiento máximo (mm)
Chanul	662,50	8,80
Eucalipto	1095,01	11,10
Colorado	999,39	8,21



**Figura 37.** Comportamiento de las maderas a tracción paralela

La madera que mayor resistencia tiene a la tracción paralela es el Eucalipto del Aserradero San Felipe con 1095.01 Kg, seguido por el Eucalipto del Aserradero San Jorge con 1012.45 Kg. En tercer lugar de capacidad resistente está el Colorado del Aserradero San Felipe con 999.39 Kg. La madera que tiene menor capacidad resistente es el Chanul del Aserradero San Felipe con 662.50 Kg. El Colorado del Aserradero San Felipe con 999.39 Kg tiene mayor capacidad resistente que el Chanul de ambos aserraderos.

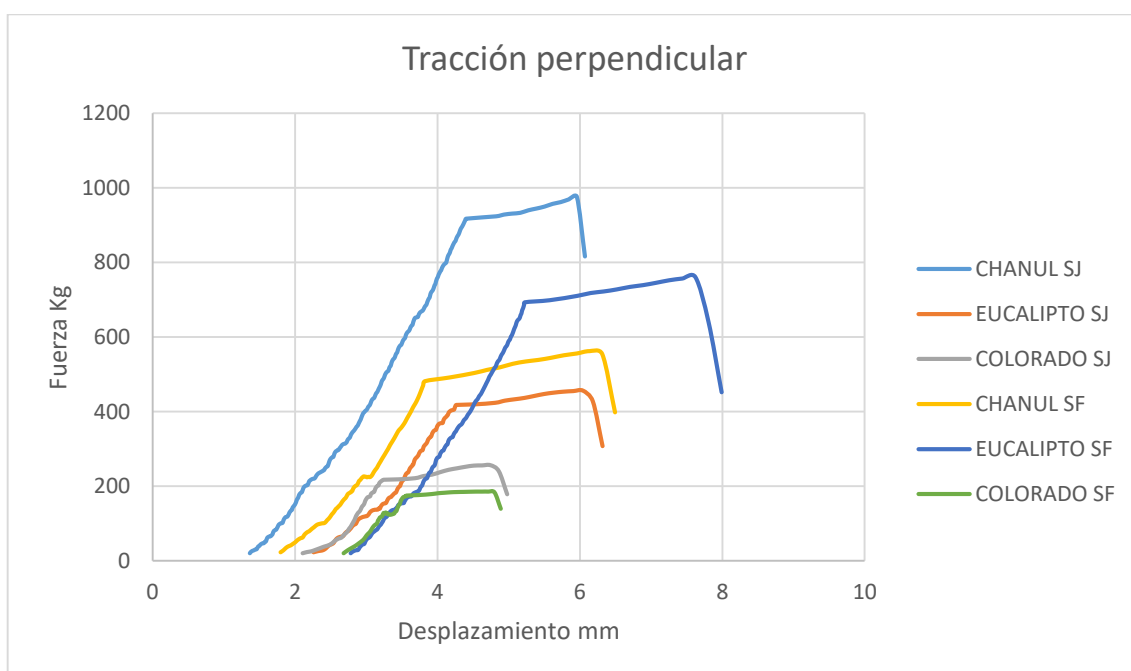
El Chanul del Aserradero San Jorge con 870.86 Kg presenta mayor capacidad resistente a la tracción paralela a las fibras que el Chanul del Aserradero San Felipe con 662.50 Kg. El Eucalipto del Aserradero San Felipe con 1095.01 Kg tiene mayor capacidad resistente que el Eucalipto del Aserradero San Jorge con 1012.45 Kg. El Colorado del Aserradero San Felipe con 999.39 Kg resiste más las solicitaciones de carga que el Colorado del Aserradero San Jorge con 760.02 Kg.

#### 4.1.4.- Tracción perpendicular a las fibras

**Tabla 9**

*Resultados tracción perpendicular a las fibras*

COMERCIAL SAN JORGE		
Tipo de madera	Fuerza Máxima (Kg)	Desplazamiento máximo (mm)
Chanul	976,40	5,95
Eucalipto	455,63	6,04
Colorado	256,60	4,74
COMERCIAL SAN FELIPE		
Tipo de madera	Fuerza Máxima (Kg)	Desplazamiento máximo (mm)
Chanul	562,21	6,13
Eucalipto	760,54	7,62
Colorado	185,45	4,71



**Figura 38.** Comportamiento de las maderas a tracción perpendicular

La madera que más resiste las solicitaciones a tracción perpendicular es el Chanul del Aserradero San Jorge con 976.40 Kg seguida del Eucalipto del Aserradero San Felipe con 760.54. En tercer lugar de resistencia está el Chanul del Aserradero San Felipe con 562.21 Kg seguido en cuarto lugar por el Eucalipto del Aserradero San Jorge con 455.63 Kg. La madera que menos resistencia muestra a la tracción perpendicular es el Colorado del Aserradero San Felipe con 185.45 Kg y en penúltimo lugar el Colorado del Aserradero San Jorge con 256.60 Kg.

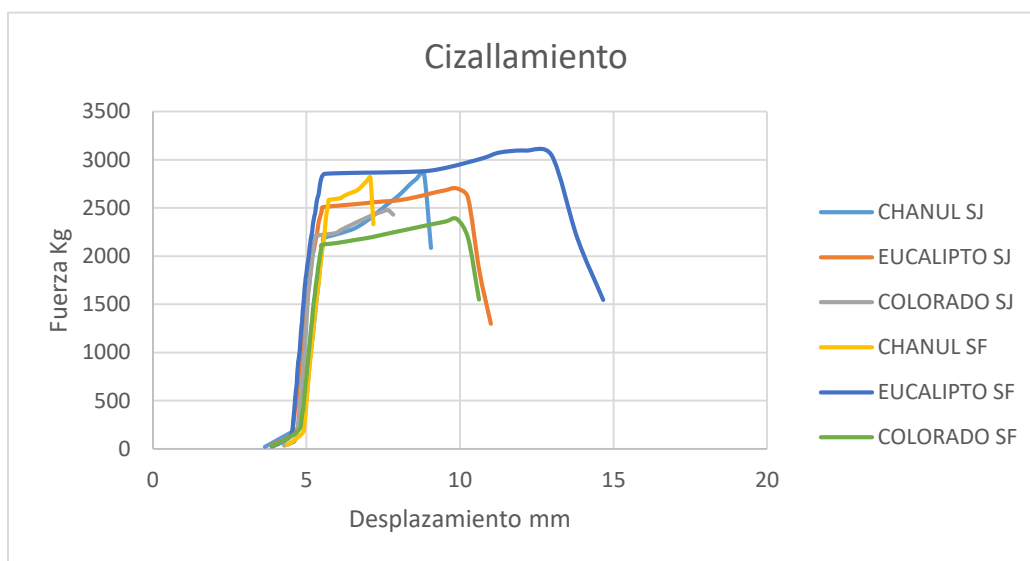
El Chanul del Aserradero San Jorge con 976.40 Kg presenta mayor capacidad resistente a la tracción paralela a las fibras que el Chanul del Aserradero San Felipe con 562.21 Kg. El Eucalipto del Aserradero San Felipe con 760.54 Kg tiene mayor capacidad resistente que el Eucalipto del Aserradero San Jorge con 455.63 Kg. El Colorado del Aserradero San Jorge con 256.60 Kg resiste más las solicitaciones de carga que el Colorado del Aserradero San Felipe con 185.45 Kg.

#### 4.1.5.- Cizallamiento

**Tabla 10**  
*Resultados cizallamiento*

<b>COMERCIAL SAN JORGE</b>		
<b>Tipo de madera</b>	<b>Fuerza Máxima (Kg)</b>	<b>Desplazamiento máximo (mm)</b>
Chanul	2864,26	8,82
Eucalipto	2702,81	9,88
Colorado	2477,54	7,65
<b>COMERCIAL SAN FELIPE</b>		
<b>Tipo de madera</b>	<b>Fuerza Máxima (Kg)</b>	<b>Desplazamiento máximo (mm)</b>
Chanul	2816,19	7,08
Eucalipto	3094,93	12,14
Colorado	2384,53	9,90





**Figura 39.** Comportamiento de las maderas al cizallamiento

La madera que presenta mayor resistencia al cizallamiento es el Eucalipto del Aserradero San Felipe con 3094.93 Kg seguida por el Chanul del Aserradero San Jorge con 2864.26 Kg. En tercer lugar de resistencia está el Chanul del Aserradero San Felipe con 2816.19 Kg seguido en cuarto lugar por el Eucalipto del Aserradero San Jorge 2702.81 Kg. La madera que menor capacidad resistente posee es el Colorado del Aserradero San Felipe con 2384.53 Kg y en penúltimo lugar está el Colorado del Aserradero San Jorge con 2477.54 Kg.

En la figura se observa que el Eucalipto del Aserradero San Felipe con 3094.93 Kg tiene mayor capacidad resistente que el Eucalipto del Aserradero San Jorge con 2702.81 Kg. El Chanul del Aserradero San Jorge con 2864.26 Kg resiste más las solicitaciones de carga que el Chanul del Aserradero San Felipe con 2816.19 Kg. El Colorado del Aserradero San Jorge con 2477.54 Kg tiene mayor capacidad resistente que el Colorado del Aserradero San Felipe con 2384.53 Kg.

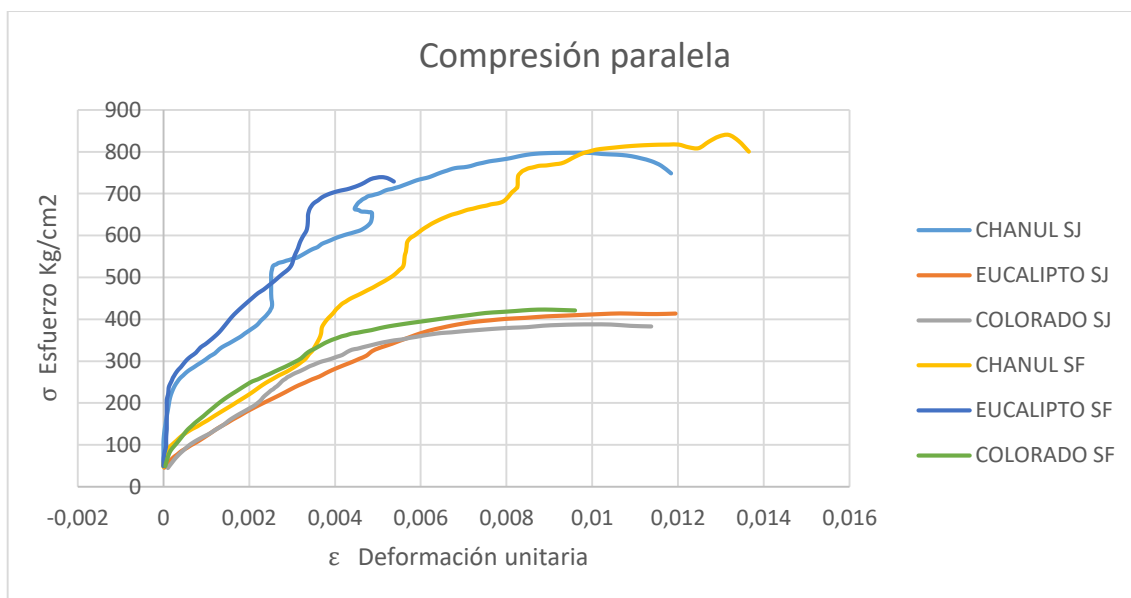
## 4.2.- Diagramas de esfuerzo – deformación unitaria

### 4.2.1.- Compresión paralela a las fibras

**Tabla 11**

*Resultados esfuerzos máximos a compresión paralela*

COMERCIAL SAN JORGE		
Tipo de madera	Esfuerzo máximo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación unitaria
Chanul	797,58	0,009
Eucalipto	413,78	0,010
Colorado	388,08	0,010
COMERCIAL SAN FELIPE		
Tipo de madera	Esfuerzo máximo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación unitaria
Chanul	840,51	0,013
Eucalipto	739,48	0,005
Colorado	423,13	0,009



**Figura 40.** Grafica de Esfuerzo vs Deformación unitaria para compresión paralela

La madera que presenta el mayor esfuerzo último de compresión paralela es el Chanul del Aserradero San Felipe con 840.52 Kg/cm<sup>2</sup> seguido del Chanul del Aserradero San Jorge con 757.98 Kg/cm<sup>2</sup>. En tercer lugar de capacidad resistente está el Eucalipto del Aserradero

San Felipe con 739.49 Kg/cm<sup>2</sup> en cuarto lugar está el Colorado del Aserradero San Felipe con 423.13 Kg/cm<sup>2</sup>. La madera que presenta la menor capacidad resistente es el Colorado del Aserradero San Jorge con 388.08 Kg/cm<sup>2</sup> y en penúltimo lugar en resistencia está el Eucalipto del Aserradero San Jorge con 413.78 Kg/cm<sup>2</sup>.

Las resistencias obtenidas implican que para efectos de cálculo estructural de elementos de madera sometidos a compresión como columnas o celosías en el que se necesite una alta resistencia, el Chanul es la madera disponible en el mercado que mejor resiste las solicitaciones de carga especificadas. Si los elementos estructurales no demandan una alta resistencia a la compresión paralela se puede usar Eucalipto o Colorado.

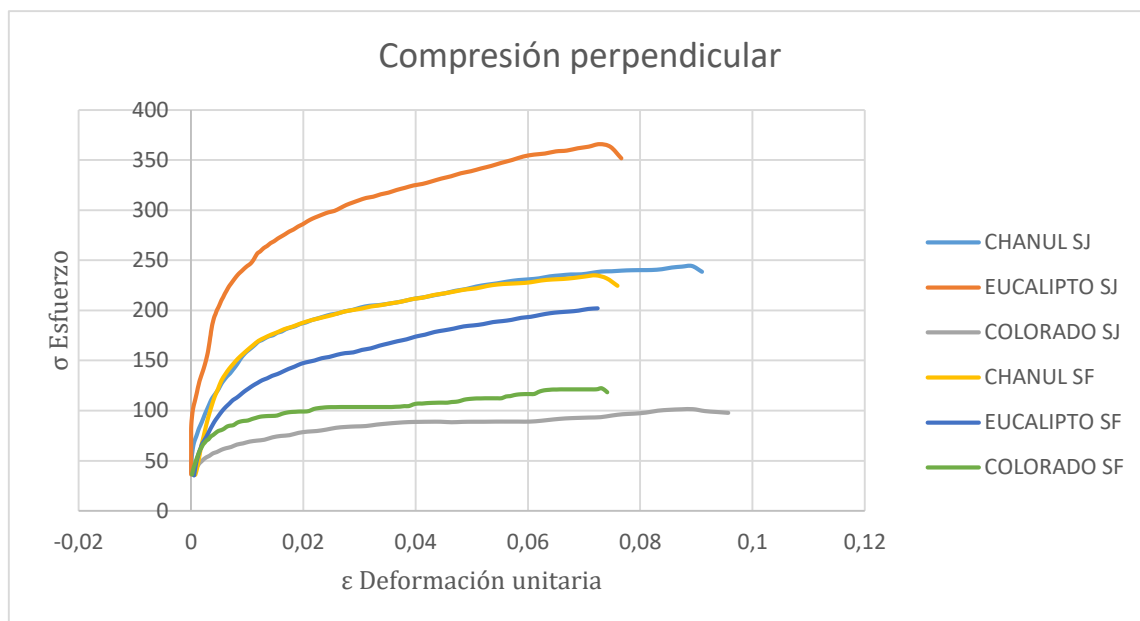
El Chanul del Aserradero San Felipe con 840.51 Kg/cm<sup>2</sup> presenta una mayor resistencia a la compresión que el Chanul del Aserradero San Jorge con 797.58 Kg/cm<sup>2</sup>. El Eucalipto del Aserradero San Felipe con 739.48 Kg/cm<sup>2</sup> muestra una mayor capacidad resistente que el Eucalipto del Aserradero San Jorge con 413.78 Kg/cm<sup>2</sup>. El Colorado del Aserradero San Felipe con 423.13 Kg/cm<sup>2</sup> resiste más que el Colorado del Aserradero San Jorge con 388.08 Kg/cm<sup>2</sup>. Las maderas del Aserradero San Felipe presentan mejores características resistentes que las maderas del Aserradero San Jorge.

#### 4.2.2.- Compresión perpendicular a las fibras

**Tabla 12**

*Resultados esfuerzos máximos a compresión perpendicular a las fibras*

<b>COMERCIAL SAN JORGE</b>		
<b>Tipo de madera</b>	<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deformación unitaria</b>
Chanul	244,48	0,080
Eucalipto	365,77	0,070
Colorado	101,39	0,080
<b>COMERCIAL SAN FELIPE</b>		
<b>Tipo de madera</b>	<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deformación unitaria</b>
Chanul	234,98	0,070
Eucalipto	739,48	0,005
Colorado	201,91	0,070



**Figura 41.** Grafica de Esfuerzo vs Deformación unitaria para compresión perpendicular

La madera que presenta el mayor esfuerzo último de compresión perpendicular es el Eucalipto del Aserradero San Felipe con  $739.48 \text{ Kg/cm}^2$  después el Eucalipto del Aserradero San Jorge con  $365.77 \text{ Kg/cm}^2$ . En tercer lugar de capacidad resistente está el Chanul del Aserradero San Jorge con  $244.48 \text{ Kg/cm}^2$  en cuarto lugar está el Chanul del Aserradero San Felipe con  $234.98 \text{ Kg/cm}^2$ . La madera que presenta la menor capacidad resistente es el Colorado del Aserradero San Jorge con  $101.39 \text{ Kg/cm}^2$  y en penúltimo lugar en resistencia está el Colorado del Aserradero San Felipe con  $201.91 \text{ Kg/cm}^2$ .

Las resistencias obtenidas muestran que si la carga actúa perpendicular a las fibras la madera resiste menos que si esta actúa paralelamente. Es decir, para efectos de compresión conviene colocar los elementos estructurales de tal manera que el sentido de la carga sea paralela a las fibras.

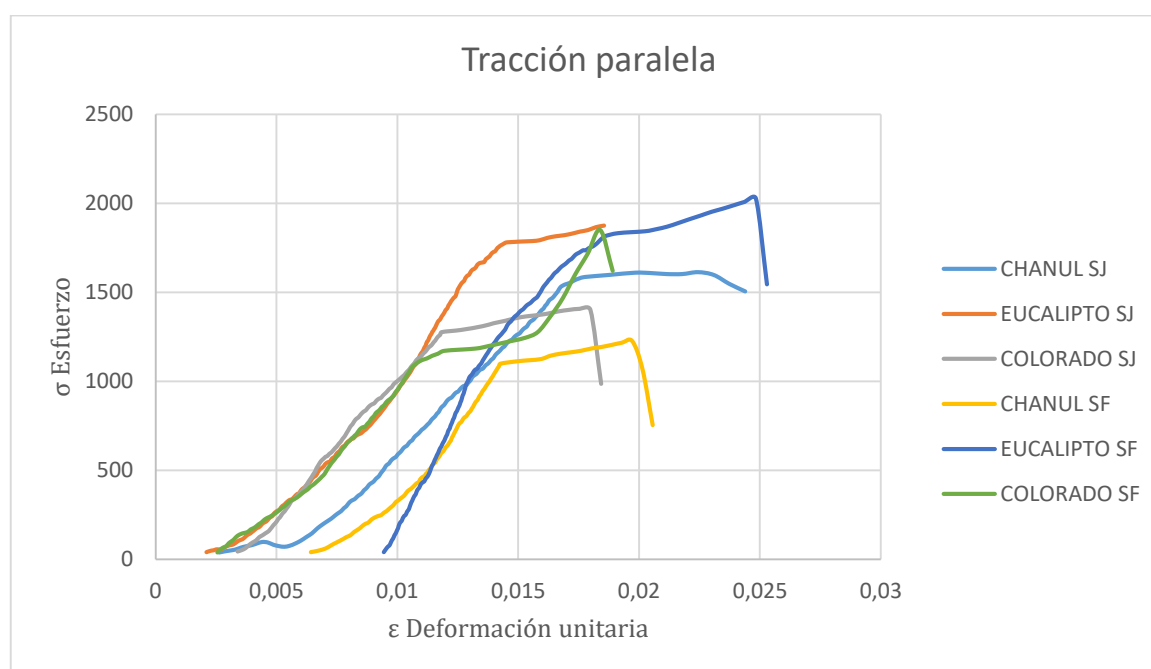
El Eucalipto del Aserradero San Jorge con  $365.77 \text{ Kg/cm}^2$  presenta una mayor capacidad resistente que el Eucalipto del Aserradero San Felipe con  $739.48 \text{ Kg/cm}^2$ . El Chanul del Aserradero San Jorge con  $244.48 \text{ Kg/cm}^2$  muestra mayor capacidad resistente que el Chaul del Aserradero San Felipe con  $234.98 \text{ Kg/cm}^2$ . El Colorado del Aserradero San Felipe  $201.91 \text{ Kg/cm}^2$  tiene una mayor capacidad resistente que el Colorado del Aserradero San Jorge con  $101.39 \text{ Kg/cm}^2$ .

### 4.2.3.- Tracción paralela a las fibras

**Tabla 13**

*Resultados esfuerzos máximos a tracción paralela a las fibras*

COMERCIAL SAN JORGE		
Tipo de madera	Esfuerzo máximo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación unitaria
Chanul	1612,70	0,022
Eucalipto	1874,92	0,018
Colorado	1407,44	0,017
COMERCIAL SAN FELIPE		
Tipo de madera	Esfuerzo máximo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación unitaria
Chanul	1226,92	0,019
Eucalipto	2027,80	0,024
Colorado	1850,73	0,018



**Figura 42.** Grafica de Esfuerzo vs Deformación unitaria para tracción paralela

La madera que presenta el mayor esfuerzo máximo a tracción paralela es el Eucalipto del Aserradero San Felipe con 2027.80 Kg/cm<sup>2</sup> después el Eucalipto del Aserradero San Jorge con 1874.92 Kg/cm<sup>2</sup>. En tercer lugar de capacidad resistente está el Colorado del Aserradero San Felipe con 1850.73 Kg/cm<sup>2</sup> seguido en cuarto lugar por el Chanul del Aserradero San Jorge con 1612.70 Kg/cm<sup>2</sup>. La madera que presenta la menor capacidad resistente es el Chanul del

Aserradero San Felipe con 1226.92 Kg/cm<sup>2</sup> y en penúltimo lugar en resistencia está el Colorado del Aserradero San Jorge con 1407.44 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los resultados muestran que para obras en las que elementos estructurales como celosías o vigas que demanden resistencia a la tracción paralela, la madera disponible en el mercado que mejor resiste las solicitaciones de carga es el Eucalipto. Si los elementos demandan una resistencia de moderada-baja se pueden usar maderas disponibles como el Chanul o el Colorado.

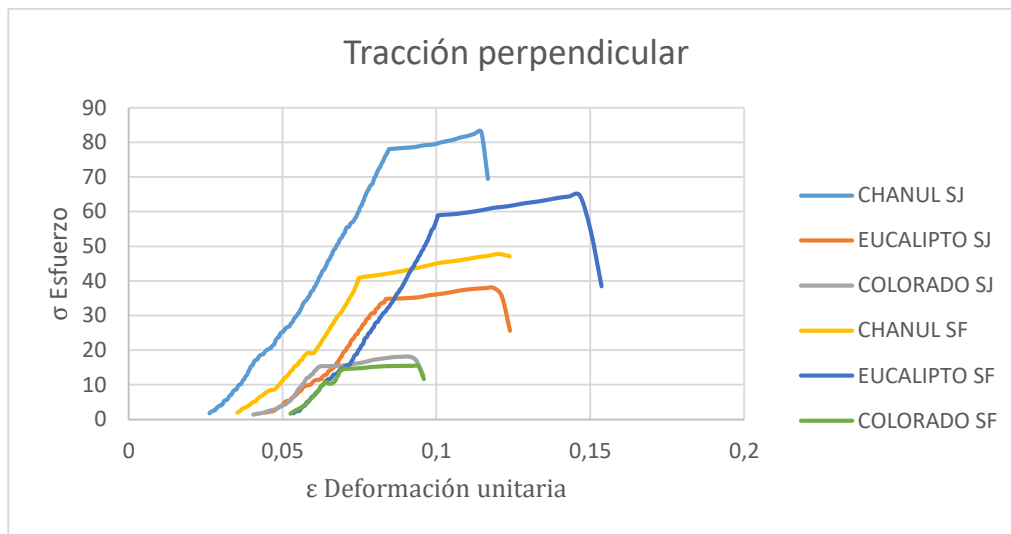
El Chanul del Aserradero San Jorge con 1612.70 Kg/cm<sup>2</sup> presenta mayor capacidad resistente a la tracción paralela a las fibras que el Chanul del Aserradero San Felipe con 1226.92 Kg/cm<sup>2</sup>. El Eucalipto del Aserradero San Felipe con 2027.80 Kg/cm<sup>2</sup> tiene mayor capacidad resistente que el Eucalipto del Aserradero San Jorge con 1874.92 Kg/cm<sup>2</sup>. El Colorado del Aserradero San Felipe con 1850.73 Kg/cm<sup>2</sup> resiste más las solicitaciones de carga que el Colorado del Aserradero San Jorge con 1407.44 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.3.4.- Tracción perpendicular a las fibras

**Tabla 14**

*Resultados esfuerzos máximos a tracción perpendicular a las fibras*

<b>COMERCIAL SAN JORGE</b>		
<b>Tipo de madera</b>	<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deformación unitaria</b>
Chanul	83,02	0,11
Eucalipto	37,96	0,11
Colorado	18,12	0,09
<b>COMERCIAL SAN FELIPE</b>		
<b>Tipo de madera</b>	<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deformación unitaria</b>
Chanul	47,80	0,12
Eucalipto	64,67	0,14
Colorado	15,45	0,09



**Figura 43.** Grafica de Esfuerzo vs Deformación unitaria para tracción perpendicular

La madera que presenta el mayor esfuerzo máximo a tracción perpendicular es el Chanul del Aserradero San Jorge con  $83.02 \text{ Kg/cm}^2$  después el Eucalipto del Aserradero San Felipe con  $64.67 \text{ Kg/cm}^2$ . En tercer lugar de capacidad resistente está el Chanul del Aserradero San Felipe con  $47.80 \text{ kg/cm}^2$  en cuarto lugar está el Eucalipto del Aserradero San Jorge con  $37.96 \text{ Kg/cm}^2$ . La madera que presenta la menor capacidad resistente es el Colorado del Aserradero San Felipe con  $15.45 \text{ kg/cm}^2$  y en penúltimo lugar en resistencia está el Colorado del Aserradero San Jorge con  $18.12 \text{ Kg/cm}^2$ .

Los resultados muestran que para obras en las que elementos estructurales como celosías o vigas que demanden resistencia a la tracción perpendicular, la madera disponible en el mercado que mejor resiste las solicitaciones de carga es el Chanul. Si los elementos demandan una resistencia moderada se pueden usar maderas disponibles como el Eucalipto o el Colorado.

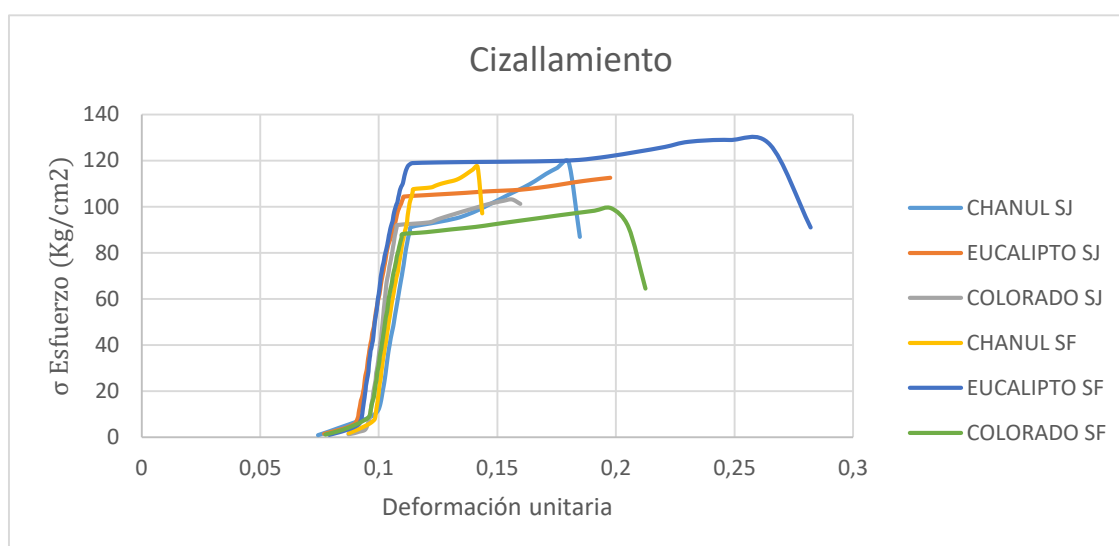
El Chanul del Aserradero San Jorge con  $83.02 \text{ Kg/cm}^2$  presenta mayor capacidad resistente a la tracción perpendicular que el Chanul del Aserradero San Felipe con  $47.80 \text{ Kg/cm}^2$ . El Eucalipto del Aserradero San Felipe con  $64.67 \text{ Kg/cm}^2$  tiene mayor capacidad resistente que el Eucalipto del Aserradero San Jorge con  $37.96 \text{ Kg/cm}^2$ . El Colorado del Aserradero San Jorge con  $18.12 \text{ Kg/cm}^2$  resiste más las solicitaciones de carga que el Colorado del Aserradero San Felipe con  $15.45 \text{ Kg/cm}^2$ .

### 4.3.5.- Cizallamiento

**Tabla 15**

*Resultados esfuerzos máximos al cizallamiento*

COMERCIAL SAN JORGE		
Tipo de madera	Esfuerzo máximo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación unitaria
Chanul	119,29	0,18
Eucalipto	112,57	0,19
Colorado	103,18	0,15
COMERCIAL SAN FELIPE		
Tipo de madera	Esfuerzo máximo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación unitaria
Chanul	117,29	0,14
Eucalipto	128,90	0,24
Colorado	99,31	0,19



**Figura 44.** Grafica de Esfuerzo vs Deformación unitaria para cizallamiento

La madera que presenta el mayor esfuerzo último al cizallamiento es el Eucalipto del Aserradero San Felipe con 128.90 Kg/cm<sup>2</sup> después el Chanul del Aserradero San Jorge con 119.29 Kg/cm<sup>2</sup>. En tercer lugar de capacidad resistente está el Chanul del Aserradero San Felipe con 117.29 Kg/cm<sup>2</sup> en cuarto lugar está el Eucalipto del Aserradero San Jorge con 112.57 Kg/cm<sup>2</sup>. La madera que presenta la menor capacidad resistente es el Colorado del Aserradero San Felipe con 99.31 kg/cm<sup>2</sup> y en penúltimo lugar en resistencia está el Colorado del Aserradero San Jorge con 103.18 Kg/cm<sup>2</sup>.



Los resultados muestran que para obras en las que elementos estructurales como columnas, celosías o vigas que demanden resistencia al corte las maderas presentan un comportamiento similar, es decir, puede usarse Eucalipto, Chanul o Colorado disponible en el mercado.

El Chanul del Aserradero San Jorge con  $119.29 \text{ Kg/cm}^2$  presenta mayor capacidad resistente a la tracción perpendicular que el Chanul del Aserradero San Felipe con  $117.29 \text{ Kg/cm}^2$ . El Eucalipto del Aserradero San Felipe con  $128.90 \text{ Kg/cm}^2$  tiene mayor capacidad resistente que el Eucalipto del Aserradero San Jorge con  $112.57 \text{ Kg/cm}^2$ . El Colorado del Aserradero San Jorge con  $103.18 \text{ Kg/cm}^2$  resiste más las sollicitaciones de carga que el Colorado del Aserradero San Felipe con  $99.31 \text{ Kg/cm}^2$ .

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1.- Conclusiones

- La madera de mejor calidad disponible en el mercado para efecto de compresión paralela es el Chanul ofertado en el Aserradero San Felipe con una resistencia de 840.52 kg/cm<sup>2</sup> la cual cumple con la norma del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino que especifica una resistencia mínima de 110 kg/cm<sup>2</sup>.
- La madera de mejor calidad disponible en el mercado para efecto de compresión perpendicular es el Eucalipto ofertado en el Aserradero San Felipe con una resistencia de 739.48 kg/cm<sup>2</sup> la cual cumple con la norma del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino que especifica una resistencia mínima de 15 kg/cm<sup>2</sup>.
- La madera de mejor calidad disponible en el mercado para efecto de tracción paralela es el Eucalipto ofertado en el Aserradero San Felipe con una resistencia de 1095.01 kg/cm<sup>2</sup> la cual cumple con la norma del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino que especifica una resistencia mínima de 75 kg/cm<sup>2</sup>.
- La madera de mejor calidad disponible en el mercado para efecto de cizallamiento es el Eucalipto ofertado en el Aserradero San Felipe con una resistencia de 128.90 kg/cm<sup>2</sup> la cual cumple con la norma del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino que especifica una resistencia mínima de 8 kg/cm<sup>2</sup>.
- El distribuidor que dispone de maderas de la mayor calidad es el Aserradero San Felipe. La calidad de las maderas disponibles en el Aserradero San Jorge es inferior sin embargo sus valores de resistencia cumplen con la norma establecida en Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

## 5.2.- Recomendaciones

- Para el efecto de una alta calidad en la resistencia de los materiales de obras en madera proyectadas en la Ciudad de Quito y sus periferias, se recomienda usar maderas disponibles en el Aserradero San Felipe.
- Para el efecto de una calidad media pero totalmente funcional en la resistencia de los materiales de obras en madera proyectadas en la Ciudad de Quito y sus periferias, se recomienda usar maderas disponibles en el Aserradero San Jorge.

## 5.3.- Referencias

- ANDINO, G. (1984). Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.
- Ferrer, M. (1999). *Resistencia de materiales*. Barcelona, Espana: EDICIONES UPC.
- Jaramillo, E. (2017). *Resistencia de Materiales, algunos temas especiales*. Cali, Colombia: Programa Editorial Universidad Autonoma de Occidente.
- Melián, J. (27 de Enero de 2011). *Elasticidad y resistencia de materiales*. Las Palmas, Espana: UNIVERSIDAD LAS PALMAS.
- Mott, R. (2009). *Resistencia de materiales aplicada*. Naucalpan, Juarez, Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- N.E.C. (2011). Norma Ecuatoriana Construcción.
- N.E.C. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- NORMAS. (s.f.). Norma Técnica Colombiana. Bogotá, Colombia.
- NORMAS. (s.f.). Norma Técnica Colombiana NTC 775. Bogotá , Colombia.
- NORMAS. (s.f.). Norma Técnica Colombiana NTC 944 . Bogotá, Colombia.
- NORMAS. (s.f.). Norma Técnica Colombiana NTC 961. Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, M. (2005). *Elasticidad y Resistencia de Materiales I*. Malaga, Lugo, Espana: UNED Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Ruiz, M. C. (31 de Diciembre de 2004). *Mecánica de estructuras*. Catalunya, Espana: EDICIONS UPC.