

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS
GUAYACÁN TRÉBOL, QUIEBRA FILO, CHANUL, PINO PATULA, SANDE, Y
SU RELACIÓN CON LA DENSIDAD BÁSICA.**

**MARÍA VICTORIA ÁLAVA
SORAYDA ROCIO SOLARTE**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2014**

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS
GUAYACÁN TRÉBOL, QUIEBRA FILO, CHANUL, PINO PATULA, SANDE, Y
SU RELACIÓN CON LA DENSIDAD BÁSICA.**

**MARÍA VICTORIA ÁLAVA
SORAYDA ROCIO SOLARTE**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniera Civil**

**DIRECTOR:
ARMANDO MUÑOZ DAVID**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2014**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el Trabajo de Grado, son responsabilidad exclusiva del autor”.

Artículo 1 del acuerdo N°. 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Concejo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor

Artículo 13° del acuerdo No. 005 de enero 26 de 2010, emanado por el Honorable Concejo Académico de la Universidad de Nariño”

Nota de aceptación

Jurado delegado

Jurado

Presidente

San Juan de Pasto, Junio de 2013

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme guiado y acompañado a lo largo de mi carrera por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad por brindarme una vida de aprendizaje, experiencias y sobre todo de felicidad, también doy gracias a mi familia por ayudarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y sobre todo ser un excelente ejemplo a seguir

SORAYDA ROCIO SOLARTE

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mi recuerdos y en mi corazón, sin importarles donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

MARIA VICTORIA ALAVA JARRIN

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en el estudio y determinación de las propiedades mecánicas de las especies de madera conocidas como Guayacán Trébol, Quiebrafilo, Chanul, Pino Patula, y Sande, originarias de los departamentos de Nariño y Putumayo, en tres estados de humedad: seco, húmedo y natural.

Esta investigación nace de la necesidad de conocer las propiedades mecánicas de las maderas más utilizadas en la región. Además, complementa y da continuidad a investigaciones anteriores efectuadas sobre los mismos materiales realizadas por el PADT- REFORT, a nivel de todos los países andinos, por el ingeniero Guillermo Rondón Vesga, quien clasificó 32 especies de madera de la región de acuerdo a su densidad básica en los tres grupos A, B y C, y por los ingenieros Pedro Luis Leyton y Harvin Danilo Cabrera Villota egresados de la Universidad de Nariño¹, quienes en su investigación determinan las propiedades físicas mecánicas de algunos tipos de maderas.

Partiendo de los resultados de estos trabajos investigativos surge la idea de ampliar el estudio a otras especies de maderas de la región, incluyendo como avance investigativo la realización de los ensayos de resistencia mecánica en los tres estados de humedad, con dos finalidades: la primera tener una apreciación de la variación de resistencia con el contenido de humedad, y la segunda, poder comparar las recomendaciones de PADT-REFORT y la NSR-10 sobre esfuerzos admisibles con los que se pueden obtener en esta investigación. Las especies a estudiar son: Guayacán Trébol, Quiebrafilo, Chanul, Pino Pátula, Sande.

Los ensayos se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Nariño en la ciudad San Juan de Pasto.

Las piezas de madera se fallaron teniendo en cuenta las normas técnicas colombianas (NTC) vigentes y siguiendo los procedimientos y protocolos estipulados en ellas, con lo cual se está en condiciones de clasificar las especies en los grupos estructurales, comparar su resistencia con las recomendaciones de PADT-REFORT y la NSR-10, para esfuerzos admisibles, y entregar unos resultados útiles para que los ingenieros y arquitectos de la región puedan determinar su mejor uso en el campo constructivo.

¹ DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO- MECÁNICAS DE LAS MADERAS PANDALA, CHANUL, GRANADILLO Y CUANGARE SEGÚN LA DENSIDAD BÁSICA TIPO A,B Y C.

ABSTRACT

The current research work consisted in the study and determination of the mechanical properties of the species of woods known as: Guayacán Trébol, Quiebrafilo, Pino Patula and Sande, woods that are native to the Nariño and Putumayo Departments, humidity in three states as dry, wet and natural

This research stems from the need to know the mechanical properties of the most commonly used timbers in the region. Additionally, complements and gives continuity previous research of the same material conducted by the PADT-REFORT, level of all the Andean countries by the Guillermo Rondón Vesga, an engineer, who classified 32 species of woods in the region according to their density into three groups A, B and C, established in studies of PADT-REFORT, and by engineers, Pedro Luis Leytón and Harvin Danilo Cabrera Villota who, in their research identified the physical-mechanical properties of some types of woods

Based on these two research papers came the idea of expanding the study to different wood species from the region, including conducting research and advancement of mechanical strength testing in three states of humidity, dry, natural and humid, with two purposes: first to have an appreciation of the variation of resistance with moisture content, and second, to compare recommendations PADT-REFORT and NSR-10 on the allowable stresses to be gained in this research. The species studied are: Guayacán Trébol, Quiebrafilo, Chanul, Pino Patula, and Sande.

The mechanical properties assessed, are: Static bending strength, Compressive strength parallel to the fibers, Compression strength perpendicular to grain, Shear or parallel cut strength to the fibers in the radial face, Brinell hardness strength, Tensile strength parallel to the grain

These tests were performed in the laboratories of the School of Engineering of Nariño University, in the city of Pasto. The wooden parts will be failed given the current Colombian (NTC) standards and following the procedures and protocols set forth in them, thus is able to classify species into structural groups, compare their strength with PADT-REFORT (Andean Technological Development Projects in the Area of Tropical Forest Resources) and NSR-10 (Colombian earthquake resistant building code) recommendations for allowable stresses, and deliver useful results for engineers and architects in the region to determine its best use in the construction field.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	15
1. MARCO TEÓRICO.....	19
2. MARCO CONCEPTUAL	20
2.1 MADERA.....	20
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA.....	20
2.2.1 Guayacán trébol.....	20
2.2.2 Chanul.....	20
2.2.3 Pino pátula.	20
2.2.4 Quiebrafilo.....	21
2.2.5 Sande.....	21
2.3 PROPIEDADES FISICAS	21
2.4 PROPIEDADES MECANICAS	21
2.4.1 Ensayo de flexión estática.....	22
2.4.2 Dureza Brinell.....	23
2.4.3 Resistencia a la compresión paralela a la fibra.	23
2.4.4 Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra. “	24
2.4.5 Resistencia al cizallamiento.	24
2.4.6 Tracción paralela al grano.....	24
2.4.7 Esfuerzos admisibles según PADT-REFORT	24
2.4.8 Esfuerzos admisibles según la NSR-10 Título G.....	25
3. DESARROLLO TRABAJO DE GRADO	27
3.1 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN.	27
3.2 DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIES DE MADERA.	27
3.3 IDENTIFICACIÓN, SELECCIÓN DE LOS DIFERENTES ENSAYOS Y FORMA DE ELABORAR EL CÁLCULO MATEMÁTICO PARA OBTENER LOS RESULTADOS.	27

3.4	OBTENCION DE CERTIFICADO CALIBRACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS PARA LABORATORIO Y LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	27
3.5	OBTENCIÓN DE CANTIDAD DE PROBETAS POR ENSAYO.....	27
3.6	MATERIALES, EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS.	28
3.6.1	Materiales: fabricación de las probetas de madera y revisión de las medidas.....	28
3.6.2	Equipo para realización de ensayos mecánicos:	28
3.6.3	Procedimientos	30
3.6.4	Densidad básica.....	30
3.6.5	Contenido de humedad.	31
3.7	PROCESAMIENTO DE DATOS	34
4.	ANÁLISIS DE DATOS.....	35
4.1	OBTENCION DEL NÚMERO DE PROBETAS.....	35
4.2	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA	35
4.3	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS DE RESISTENCIA POR CADA ENSAYO	36
4.3.1	Resistencia a la flexión:.....	36
4.3.2	Resistencia a la compresión paralela a las fibras:	43
4.3.3	Resistencia a la compresión perpendicular a las fibras:.....	50
4.4	RESISTENCIA A LA CIZALLADURA	58
4.4.1	Dureza Brinell:.....	66
4.4.2	Resistencia a la tracción paralela:.....	73
5.	CONCLUSIONES.....	77
6.	RECOMENDACIONES	80
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Factores de reducción considerados, tabla 7.3 Padt- Refort.	25
Tabla 2. Factor de reducción de reducción de módulo E y esfuerzos F_i Tabla G-A-1. NSR-10.....	26
Tabla 3. Dimensiones de probetas	28
Tabla 4. Densidades básicas y clasificación en grupos estructurales según la Padt Refort.....	35
Tabla 5. Módulo de elasticidad y clasificación en grupos estructurales según la NSR-10.....	36
Tabla 6. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la flexión según el contenido de humedad Pino Patula.....	36
Tabla 7. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la flexión según el contenido de humedad Sande.....	37
Tabla 8. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la flexión según el contenido de humedad Quiebra filo.....	38
Tabla 9. Comparación de esfuerzos últimos de la resistencia a la flexión según el contenido de humedad Chanul.....	39
Tabla 10. Comparación de esfuerzos últimos de la resistencia a la flexión según el contenido de humedad Guayacán Trébol.....	40
Tabla 11. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la flexión en estado seco.....	40
Tabla 12. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la flexión en estado natural.	41
Tabla 13. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la flexión en estado húmedo.	42
Tabla 14. Comparación de resistencia a la compresión paralela según el contenido de humedad Pino Pátula.	43
Tabla 15. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión paralela según el contenido de humedad Sande	44
Tabla 16. Comparación de resistencia a la compresión paralela según el contenido de humedad Quiebra Filo.	45
Tabla 17. Comparación de esfuerzos últimos resistencia a la compresión paralela según el contenido de humedad Chanul.	46
Tabla 18. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión paralela según el contenido de humedad Guayacán trébol.	47
Tabla 19. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la compresión paralela estado seco.....	47
Tabla 20. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la compresión paralela en estado natural.....	49

Tabla 21.	Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la compresión paralela en estado húmedo.....	50
Tabla 22.	Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión perpendicular según el contenido de humedad Pino patula.	51
Tabla 23.	Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión perpendicular según el contenido de humedad Sande	52
Tabla 24.	Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión perpendicular según el contenido de humedad Quebra filo.	53
Tabla 25.	Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión perpendicular según el contenido de humedad Chanul.	54
Tabla 26.	Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión perpendicular según el contenido de humedad Guayacán Trébol.	55
Tabla 27.	Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la compresión perpendicular estado seco.	55
Tabla 28.	Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la compresión perpendicular estado natural.	57
Grafica 8.	Resistencia a la compresión perpendicular de las 5 especies de maderas en estado natural.	57
Tabla29.	Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la compresión perpendicular en estado húmedo.	58
Tabla 30.	Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la cizalladura según el contenido de humedad pino Patula.	59
Tabla 31.	Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la cizalladura según el contenido de humedad Sande.....	60
Tabla 32.	Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la cizalladura según el contenido de humedad Quebra Filo.....	61
Tabla 33.	Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la cizalladura según el contenido de humedad Chanul.....	62
Tabla 34.	Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la cizalladura según el contenido de humedad Guayacán Trébol.....	63
Tabla 35.	Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la cizalladura en estado seco.....	63
Tabla 36.	Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la cizalladura en estado natural.....	64
Tabla 37.	Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la cizalladura en estado húmedo.....	65
Tabla 38.	Comparación de esfuerzos últimos de la dureza Brinell según el contenido de humedad Pino Patula.	66
Tabla 39.	Comparación de esfuerzos últimos de la dureza Brinell según el contenido de humedad Sande.	67

Tabla 40.	Comparación de esfuerzos últimos de la dureza Brinell según el contenido de humedad Quiebra filo.	68
Tabla 41.	Comparación de esfuerzos últimos de la dureza Brinell según el contenido de humedad Chanul.	69
Tabla 42.	Comparación de esfuerzos últimos de la dureza Brinell según el contenido de humedad Guayacán Trébol.	70
Tabla 43.	Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de dureza Brinell en estado seco.	70
Tabla 44.	Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera a la dureza Brinell en estado natural.	71
Tabla 45.	Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera a la Dureza Brinell en estado húmedo.	72
Tabla 46.	Comparación de la resistencia a la tracción paralela a las fibras.	73
Tabla 47.	Comparación de resultados de resistencia de los ensayos obtenidos en la investigación con valores admisibles de resistencia para los grupos estructurales según la clasificación de PADT-REFORT.	75
Tabla 48.	Comparación de resultados de resistencia de los ensayos obtenidos en la investigación con valores admisibles de resistencia para los grupos estructurales según la clasificación de la NSR-10.	76

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Prensa.....	29
Fotografía 2. Censor de cargas.....	29
Fotografía 3. Deflectometro.....	29
Fotografía5. Proceso de pesaje con balanza e identificación de cada probeta.....	30
Fotografía 6. Proceso de obtener la densidad básica.....	31
Fotografía 7. Proceso para calcular contenido de humedad en Estado natural y seco.....	31
Fotografía 8. Ensayo de resistencia a la flexión.....	32
Fotografía 9. Ensayo de resistencia a la compresión paralela a las fibras.....	32
Fotografía 11. Ensayo de cizalladura.....	33
Fotografía 12. Ensayo de dureza de Brinell.....	34
Fotografía 13. Ensayo de tracción paralela a las fibras.....	34

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION	121
ANEXO B. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA	122
ANEXO C. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR	123
ANEXO D. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA CIZALLADURA	124
ANEXO E. ENSAYO DE DUREZA BRINELL	125
ANEXO F. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION	126
ANEXO G. TABLAS DE COMPARACION DE PADT REFORT	127
ANEXO H. CERTIFICADOS EQUIPO DE LABORATORIO.....	128
ANEXO I. ANALISIS ESTADISTICO ENSAYO DE RESISTENCIA FLEXION.....	129
ANEXO J. ANALISIS ESTADISTICO ENSAYO DE RESISTENCIA COMPRESION PARALELA	130
ANEXO K. ANALISIS ESTADISTICO ENSAYO DE RESISTENCIA COMPRESION PERPENDICULAR.....	131
ANEXO L. ANALISIS ESTADISTICO ENSAYO DE RESISTENCIA CIZALLADURA	132
ANEXO M. ANALISIS ESTADISTICO ENSAYO DE DUREZA BRINELL.....	133
ANEXO N. ANALISIS ESTADISTICO ENSAYO DE RESISTENCIA TRACCION PARALELA	134

INTRODUCCION

La madera es un material de estructura compleja y de carácter anisótropo que forma parte del tejido leñoso de los árboles, material utilizado en la construcción para la producción de elementos estructurales tales como vigas, correas y columnas, y para otras estructuras portantes para un edificio. En este proyecto se realizó la investigación de 5 tipos de maderas, efectuando ensayos para determinar las propiedades mecánicas y poder establecer su comportamiento en tres estados de humedad diferentes seco, húmedo y natural.

Por ser un material natural que en el medio no es sometido a procesos industriales más allá de los elementales de corte, almacenamiento y conservación primaria es muy difícil tener una estandarización de producto, como material de construcción por ejemplo, y su utilización sin la previa realización de estudios y/o análisis de laboratorio, o sin conocer sus propiedades, es la causa de un precipitado deterioro de viviendas o estructuras realizadas con dicho material.

Se espera con la investigación conocer las propiedades mecánicas de cinco especies maderables de la región Nariño-Putumayo, muy utilizadas en la construcción, y conocidas con los nombres de: Guayacán Trébol, Quiebrafilo, Chanul, Sande y Pino Pátula. Para el efecto se siguieron los protocolos establecidos en las diferentes normas NTC para ensayos en maderas, las cuales se indican y detallan en el cuerpo de este informe.

Se hicieron también los ensayos de DENSIDAD BÁSICA con el fin de clasificar las especies en sus correspondientes grupos estructurales (A, B, C) según los criterios del PADT-REFORT (Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales), y tener un punto de comparación de los resultados con las recomendaciones de ese ente. También se determinó el módulo de elasticidad para poder clasificar las especies maderables en los grupos estructurales establecidos en la NSR-10 tales como (ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6).

Los ensayos de propiedades mecánicas se realizaron para muestras en tres estados de humedad, seco, natural y húmedo, primero para tener una apreciación preliminar sobre la variación de los valores de resistencia con la humedad, y segundo para utilizar los valores de *esfuerzo de rotura en estado húmedo y estado natural* para el cálculo de los esfuerzos admisibles con base a la Padt-Refort y a la NSR-10 respectivamente, y poder comparar sus valores recomendados con los resultados obtenidos en esta investigación.

TITULO

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LAS MADERAS GUAYACAN TREBOL, QUIEBRAFILO, CHANUL, PINO PÁTULA, SANDE Y SU RELACIÓN CON LA DENSIDAD BASICA.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La investigación se enfatiza en la realización de ensayos para determinación de la resistencia mecánica de cada una de las especies maderables como Guayacán Trébol, Quiebrafilo, Chanul, Pino Patula y Sande, la cuál va a establecer si son aptas para el campo de la construcción en los tres estados, seco, húmedo y natural. Los ensayos de laboratorio consisten en elaborar diferentes probetas de las clases de maderas a estudiar con distintos tamaños, según como lo especifica las normas NTC. Para conocer las propiedades mecánicas de las mencionadas maderas es necesario realizar los siguientes ensayos:

- Resistencia a la flexión estática
- Resistencia a la compresión paralela a las fibras
- Resistencia de compresión perpendicular a las fibras
- Resistencia al cizallamiento o corte paralelo a las fibras en la cara radial.
- Dureza de Brinell.
- Resistencia a la tracción paralela al grano

La madera como material estructural, ha sido históricamente el más utilizado y uno de los más demandados en nuestros días, pero en la actualidad se encuentra una serie de dificultades cuyo origen se centra, básicamente, en el olvido de algunos oficios tradicionales, y es remplazado con otros materiales de reciente y fuerte implantación como el hormigón o el acero.

El problema radica en que algunas especies de madera son utilizadas en la construcción de obras estructurales o sirven de formaleta del concreto pero sin conocer cuáles son sus características o propiedades, y sin saber si estas maderas resistirán a las condiciones a las que son sometidas.

Es por eso que esta situación conlleva a realizar esta investigación con el fin de conocer las propiedades mecánicas de estas especies encontradas en la región de Putumayo y Nariño así poder utilizar estas maderas en la construcción nariñense.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué importancia tiene el conocimiento de las propiedades mecánicas de las maderas estructurales estudiadas para el uso en la industria de la construcción?

JUSTIFICACIÓN

La madera ha estado continuamente presente en las actividades del hombre; desde siempre el ser humano ha tenido la necesidad de construir y refugiarse en una vivienda debido a que es el factor más importante en el habitar humano.

Aunque la madera ha sido un material muy abundante en nuestro país, su uso se ha dedicado principalmente a la carpintería para muebles o acabados arquitectónicos, a la exportación, y como combustible en las regiones rurales y semi-urbanas. La madera como material estructural se usa poco e inadecuadamente en muchas de las regiones del país; no hay en el país una cultura ingenieril bien difundida para el uso de la madera como material estructural ni un buen conocimiento de las propiedades mecánicas.

A todo tipo de material para la construcción es indispensable realizarle pruebas de laboratorio o adquirirlos en fábricas donde proporcionen manuales con las especificaciones de los materiales que se distribuyen para luego ser utilizado en la construcción de obras civiles. Sin embargo, aparte de las recomendaciones de Padt-Refort, no se conocen catálogos de las maderas con datos de su resistencia mecánica.

Es necesario realizar esta investigación porque el ámbito de los estudios de Padt-Refort abarca 5 países andinos en los cuales existe para empezar, una enorme confusión en los nombres, variedad de microclimas y otras condiciones ambientales, los procesos estandarizados para el cultivo son incipientes, los procesos de corte son descuidados, y en consecuencia, sin demeritar el enorme avance investigativo del mencionado instituto y su aporte al conocimiento de la madera, los datos del Manual de Diseño no pueden tomarse sino como aproximaciones. Se requiere un largo proceso investigativo regional que permita, a partir de los avances que se han hecho y los que se vayan haciendo, aumentar la confiabilidad de los parámetros de diseño con nuestras maderas.

En consecuencia, se busca comprobar la densidad básica y determinar las características mecánicas de las maderas Guayacán Trébol, Quiebrafilo, Chanul, Pino Patula y Sande, para aportar a los diseñadores algunos datos que permitan mejorar la confianza en los cálculos.

Este trabajo de investigación es importante porque ayuda a soportar y ampliar investigaciones anteriores y los que se beneficien serán los diseñadores, constructores, estudiantes, docentes de la Universidad de Nariño y la comunidad en general, puesto que conociendo sus propiedades podrían resultar más económicas y mucho más seguras.

OBJETIVOS

Objetivo general:

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LAS MADERAS GUAYACÁN TRÉBOL, CHANUL, QUIEBRAFILO, PINO PATULA Y SANDE SEGÚN LA DENSIDAD BASICA.

Objetivos específicos:

- Determinar la dureza Brinell en las maderas; Guayacán Trébol, Chanul, Quiebrafilo, Pino Pátula y Sande
- Establecer la resistencia a la flexión en las maderas; Guayacán Trébol, Chanul, Quiebrafilo, Pino Patula y Sande
- Estipular la resistencia a la compresión paralela y perpendicular en las maderas; Guayacán Trébol, Chanul, Quiebrafilo, Pino Patula y Sande.
- Comprobar la resistencia al cizallamiento o corte paralelo a las fibras en la cara radial en las maderas; Guayacán Trébol, Chanul, Quiebrafilo, Pino Patula y Sande.
- Encontrar la resistencia a la tracción paralela a la fibra en las maderas Guayacán Trébol, Chanul, Quiebrafilo, Pino Patula y Sande.
- Elaborar una tabla con los resultados generados por los ensayos indicando el tipo de madera, densidad básica y su resistencia.
- Calcular el esfuerzo admisible en las maderas; Guayacán Trébol, Chanul, Quiebrafilo, Pino Patula y Sande. y concluir con una tabla de comparación de los esfuerzos admisibles obtenidos y los suministrados por la PADT –REFORT y la NSR-10

1. MARCO TEÓRICO

En los países latinoamericanos existe una gran cantidad de especies de árboles pero el hombre solo explota algunas. “Los bosques de los Países Andinos, que corresponden principalmente a las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas, cubren aproximadamente el 60% del área de la subregión y abarcan unas 221×10^6 ha. Como se dijo en las notas introductorias, se calcula que hay unas 2500 especies de árboles en los bosques naturales, muy heterogéneos. De éstas, sólo se han identificado botánicamente unas 1 000 (Dourojeanni 1981), y la industria maderera no aprovecha regularmente más que unas 50 especies. Por ejemplo, en la zona de Barrancabermeja, en Colombia, en un área de 375 000 ha, existen 260 especies forestales conocidas, de las cuales sólo a 21 se les reconoce, pero únicamente tres se explotan en forma regular”².

La madera es un material de origen orgánico más o menos compacto de naturaleza fibrosa que proviene de las plantas leñosas (árboles), que se caracteriza por sus propiedades anisotrópicas e higroscópicas. Se dice que es anisótropa por la completa heterogeneidad de propiedades en sus diferentes planos de corte, mientras la higroscopia es la capacidad de absorber o eliminar humedad dependiendo de las condiciones externas.

“Las especies maderables se clasifican de acuerdo a su composición celular en LATIFOLIADAS y CONÍFERAS, las primeras se caracterizan por crecer en bosques tropicales y subtropicales, las segundas son de zonas templadas”³.

En el campo de la construcción las maderas son muy utilizadas cumpliendo papeles muy significativos teniendo en cuenta la resistencia que posee este material y es por eso la importancia de conocer sobre las propiedades mecánicas del material.

² F.J. Keenan y TEJADA, Marcelo. Maderas tropicales como material de construcción en los países del grupo andino de américa del sur. Bogotá: s.n. 2000.

³ UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL, Facultad de ciencias de la ingeniería escuela de ingeniería en maderas “diseño de un sistema de preservación aplicable para la especie sande “brosimumutile” en la empresa eco madera verde s.a, p 68- 90

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 MADERA

“La Madera es un material de origen orgánico más o menos compacto de naturaleza fibrosa que proviene de las plantas leñosas (árboles), que se caracteriza por sus propiedades anisotrópicas e higroscópicas⁴.”

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA

2.2.1 Guayacán trébol. “Árbol que alcanza una altura hasta de 30m y un diámetro hasta de 1m; conocida como moderadamente resistente al ataque de hongos e insectos, en contacto con el suelo puede durar más de 15 años, está clasificado como maderablemente difícil de trabajar.

Nombre científico: *Platymiscium Pinnatum*

Usos: para puentes, construcciones pesadas, pisos de viviendas, armaduras vigas, pisos”⁵.

2.2.2 Chanul. ” Árbol que alcanza una altura hasta de 40m y un diámetro hasta de 1.20m; es moderadamente difícil de trabajar con máquina y herramientas comunes por lo cual es recomendable el uso de herramientas con dientes calzados tiene una duración en uso exterior de 5 a 10 años.

Nombre científico: *Sacoglottis Sprosara*

Usos: pisos, construcciones pesadas a la intemperie, puentes, construcciones navales, vigas y soleras”⁶

2.2.3 Pino pátula. “Árbol que alcanza una altura hasta de 40m y un diámetro hasta de 1,20m; considerado como no resistente al ataque de hongos e insectos, con duración exterior menos de un año, está clasificado como madera fácil de trabajar.

⁴ Ibíd.

⁵ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Artículo Guayacán trébol. Disponible en Internet:<http://www.unalmed.edu.co/~lpforest/PDF/Guayac%E1n%20trebol.pdf> y NSR-10 tabla G-B-1

⁶ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Artículo Chanul.

Nombre científico: *Pinus Pátula Schlecht.*

Usos: construcciones de defensas en carreteras, madera tipo estructural pero con luces cortas, pilotes, construcción de módulos en forma de productos a base de madera, tablex, madera-cemento, fibro-cemento.”⁷

2.2.4 Quiebrafilo. Es una madera muy dura se la conoce como Quiebrafilo y se le dice así por su dureza ya que es muy difícil de manipular; debido a su alta resistencia daña toda clase de máquina. (ver anexo....)

2.2.5 Sande. “Árbol que alcanza 25 m de altura y 1,5 m de diámetro; madera de peso liviano a medio, fácil de trabajar manualmente y con máquinas, ofrece un buen acabado y se pega fácilmente.

Nombre científico: *Brosimu mutile.*

Usos. Chapas desenrolladas para triplay, muebles, construcción liviana interior, paneles, cimbras y cajonería.”⁸

2.3 PROPIEDADES FISICAS

Las propiedades físicas corresponden a las diferentes características de la estructura leñosa de la madera entre ellas se puede mencionar, el peso específico el cual determina la dureza del material, el contenido de humedad el cual establece la cantidad de agua que posee la madera, porosidad, índices de contracción y retracción es el cambio volumétrico que experimenta el cuerpo ante el secado. (ver anexo O)

2.4 PROPIEDADES MECANICAS

La investigación consiste en aplicar ensayos mecánicos a diferentes probetas de madera de acuerdo a la normatividad de cada país en este caso las implementadas en Colombia, la Norma Técnica Colombiana (NTC).“Los ensayos mecánicos tienen por finalidad proveer información que permita predecir la respuesta de los materiales frente a sollicitaciones mecánicas externas (fuerzas o momentos). Estas sollicitaciones pueden originarse en el uso de los materiales como componentes o partes de una estructura o mecanismo, en cuyo caso es

⁷ Ibíd.

⁸ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Artículo Sande. Disponible en Internet:<http://www.unalmed.edu.co/~lpforest/PDF/Sande.pdf>

necesario conocer los valores límite que pueden soportar sin fallar a fin de determinar valores de diseño.”⁹

Las probetas se someten a estos experimentos mecánicos cuando el esfuerzo se suministra en forma de cargas controladas y estas experimentan deformaciones obteniendo como resultado la carga máxima o esfuerzo máximo soportado por la pieza de madera. Los datos obtenidos sirven para realizar la gráfica de cargas suministradas versus deformaciones experimentadas y así determinar la resistencia de cada especie. Ver información completa en anexo O)

El esfuerzo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec [1]}$$

Dónde:

σ : Esfuerzo en kgf/cm²

P: Carga en kgf

A: Área donde se aplica la carga, en cm²

Existen diferentes tipos de ensayos mecánicos para determinar la resistencia a los materiales pero en este trabajo se considera 6 tipos descritos a continuación.

- Resistencia a la flexión estática
- Resistencia a la compresión paralela a las fibras
- Resistencia a la compresión perpendicular a las fibras
- Resistencia al cizallamiento o corte paralelo a las fibras en la cara radial.
- Dureza de Brinell.
- Resistencia a la tracción paralela al grano

2.4.1 Ensayo de flexión estática. Según la NTC 663

$$\sigma_f = \frac{MF}{MR} \quad \text{EC [2]}$$

$$EM_F = \frac{3pm*L}{2b*h^2} \quad \text{EC [3]}$$

Dónde:

EM_F : El esfuerzo unitario en (kgf/cm²)

⁹ INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE MATERIALES Teorías de la Elasticidad y Plasticidad Eugenia Blangino 67.16 Ensayos Industriales - FIUBA 2008)

pm: Carga máxima obtenida en kgf
L: Luz de la probeta, separación entre apoyos en cm
h: Altura de la probeta en cm
b: Ancho de la probeta cm

2.4.2 Dureza Brinell. “Las pruebas de Dureza Brinell se iniciaron en Suecia en el año 1900 por el Dr. Johan August Brinell. La dureza puede definirse como la resistencia de un material a la penetración o formación de huellas localizadas en una superficie.”¹⁰.

Fórmula aplicada:

Para determinar la dureza Brinell se emplea la siguiente ecuación:

$$HB = \frac{2F}{\pi D^2} \left(\frac{1}{1 - \sqrt{1 - \frac{d^2}{D^2}}} \right) \quad \text{EC [4]}$$

Dónde:

HB: Dureza de Brinell (N/mm)
F: Carga a utilizar (N)
D: Diámetro de la bola.(mm)
d : Diámetro de la huella en superficie. (mm)

2.4.3 Resistencia a la compresión paralela a la fibra. Este ensayo consiste en aplicar una carga creciente de acuerdo con lo establecido por la norma colombiana (NTC 784).La resistencia en el límite proporcional a la compresión axial se determina aplicando la siguiente ecuación:¹¹

$$\sigma_c // \text{ límite proporcional} = \frac{P_1}{S} \quad \text{EC [5]}$$

Dónde:

$\sigma_c //$ = Límite proporcional = Resistencia en el límite proporcional. (kgf/cm²)
P1 = Carga soportada por la probeta en el límite proporcional (kgf)
S = Superficie de la sección transversal de la probeta en (cm²).

¹⁰ Dureza brinell y la influencia de la humedad relativa del ambiente, de la edad y la altura a lo largo del tramo en la especie bambú y la bibliografía de Dr. Johan August Brinell.

¹¹ Norma técnica Colombiana NTC 784.p.3

2.4.4 Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra. “Según la NTC 785,”¹².La resistencia en el límite proporcional se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P_1}{S} \quad \text{EC [6]}$$

σ : Resistencia en el límite proporcional.

P_1 : Carga en el límite proporcional.

S : Superficie impresa sobre la probeta por la pieza de presión, en cm².

2.4.5 Resistencia al cizallamiento. Según la NTC 775, “La probeta debe quedar fuertemente ajustada al accesorio por medio de dos tornillos que hagan presión sobre la cara A y ligeramente apretada entre otros dos tornillos colocados próximos al asiento de la probeta. Entre el plano de falla de la probeta y cizalla se debe dejar un espacio de 3 mm.

La resistencia máxima de rotura por cizallamiento se determina mediante la siguiente ecuación:

$$S_{cz} = \frac{P}{S} \quad \text{EC [7]}$$

Dónde:

s_{cz} = Resistencia máxima de rotura, en (kgf/cm²).

P = Carga máxima soportada por la probeta, en (kgf).

S = Superficie del plano en que se produce el cizallamiento, en (cm²)”¹³.

2.4.6 Tracción paralela al grano. Según la NTC 944 “Las probetas se colocan y se mantiene durante el ensayo de tal forma que la cruceta móvil se desplace a una velocidad de $1 \pm 0,25$ mm/min y de modo que las mordazas con la probeta montada, tienda a separarse entre sí. El esfuerzo unitario se calcula mediante la siguiente ecuación”¹⁴.

$$EM = \frac{P}{A} \quad \text{EC [8]}$$

EM : Esfuerzo unitario máximo, en N/cm²

P : Carga máxima soportada por la probeta en Newtons.

A : Área de la selección mínima de la probeta, en cm²

¹² NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 785. Bogotá: Norma, 2000. p. 3.

¹³ Ibíd., NTC 775.p.3

¹⁴ Ibíd., NTC 944.p.3

2.4.7 Esfuerzos admisibles según PADT-REFORT: los esfuerzos admisibles que suministra el manual de diseño de grupo andino PADT REFORT son calculados a partir de maderas en estado húmedo es decir en condiciones más críticas de resistencia

Para el diseño de estructuras en maderas se usan factores de carga o factores de reducción de resistencia.

En maderas tropicales debe hacerse el cálculo de resistencia con base en el método de esfuerzos admisibles es decir reduciendo la resistencia.

$$Esfuerzo\ admisible = factor\ de\ reducción \times esfuerzo\ último \quad EC [9]$$

$$factor\ de\ reducción = \frac{F.C. \times F.T.}{F.S. \times F.D.C.} \quad EC [10]$$

F.C.: factor de reducción por calidad, 0.8 para todos los grupos

F.T.: factor de reducción por tamaño

F.S.: factor de reducción por servicio y seguridad

FD.C.: Factor de duración de carga¹⁵

Factor de reducción	FLEXION	COMPRESION PARALELA	COMPRESION PERPENDICULAR	CIZALLADURA
FC	0,8	-	-	-
FT	0,9	-	-	-
FS	2	1,6	1,6	4
FDC	1,15	1,25	-	-

Tabla 1. Factores de reducción considerados, tabla 7.3 Padt- Refort.

2.4.8 Esfuerzos admisibles según la NSR-10 Titulo G. Los esfuerzos admisibles que suministra la NSR-10 son obtenidos de acuerdo con los esfuerzos básicos de las referencias R.G.7 y R.G.32 a una humedad C.H=12% y reduciendo a esfuerzos admisibles mediante las siguientes formulas. (ver tabla 2)

$$F_i = \frac{FC * F_d}{FS * FDC} F_{i0.05} \quad EC [11]$$

$$F_{i0.05} = \bar{F}_i (1.645 COV_i) \quad EC [12]$$

¹⁵ Junta del Acuerdo de Cartagena. PADT-REFORT. MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO. Capítulo 7, páginas 5-8 .

F.C: Factor de calidad.
 Fd: Factor de altura.
 F.S: factor de seguridad.
 FDS: factor de duración de carga.
 Fi: esfuerzo admisible i
 Fi0.05: esfuerzo 5º percentil.
 \bar{F}_i : Esfuerzo básico promedio i
 COVi: coeficiente de variación de esfuerzos.

Factor de reducción	MOE	Flexión (Fb)	Compresión Paralela (Fc)	Tensión (Ft)	Compresión perpendicular (FP)	Corte (Fv)
FC		0,8	1	0,64	1	1
Fd		0,9	1	0,84	1	1
FS		2	1,6	2	1,6	3
FDC		1,6	1,6	1,6	1	1,6
FRi		0,225	0,39	0,16875	0,625	0,2083
COVi	0,22	0,16	0,18	0,16	0,28	0,14
F 0.05		0.7368F	0.7039Fc	0.7368Ft	0.5394Fp	0.7697Fv
Ft=FR iF0.05		0.1660Fb	0.2745Fc	0.1245Ft	0.3371Fp	0.1600Fv
$E_{0.5} = \bar{E}$	E0,5	$E_{0.05} = E_{0.5} (1 - 1.645COV_E)$		MOE= módulo de elasticidad E=E0.5 módulo de elasticidad longitudinal 5º percentil Emin módulo de elasticidad longitudinal mínimo		
E0.05	0.638E0.5	$E_{0.05} = E_{0.5} (1 - 1.645COV_E) + \frac{1.03}{F_s=1.66}$				
Emin	0.96E0.5					

Tabla 2. Factor de reducción de reducción de módulo E y esfuerzos Fi Tabla G-A-1. NSR-10.

Método de cuartiles: para descartar los valores atípicos se utilizó la el método del primer y tercer cuartil y el rango de aceptación aplicando las siguientes formulas.

$$\text{limite inferior} = Q1 - ((Q1 - Q3) * 1.5) \quad \text{EC [13]}$$

$$\text{limite superior} = Q3 - ((Q1 - Q3) * 1.5) \quad \text{EC [14]}$$

3. DESARROLLO TRABAJO DE GRADO

3.1 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN.

En este ítem se buscó información bibliográfica de los diferentes temas a tratar en la investigación.

3.2 DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIES DE MADERA.

Para seleccionar los diferentes tipos de madera a estudiar se realizó la búsqueda de información en algunas distribuidoras de madera de la ciudad de Pasto; Después de tener claro las 5 diferentes especies de madera a estudiar se procedió a recolectar información acerca de sus procedencias, sus características físicas, morfológicas, la clasificación según el PADT REFORT.

3.3 IDENTIFICACIÓN, SELECCIÓN DE LOS DIFERENTES ENSAYOS Y FORMA DE ELABORAR EL CÁLCULO MATEMÁTICO PARA OBTENER LOS RESULTADOS.

Se selecciona los 6 ensayos a ejecutar, que son: dureza Brinell, compresión paralela a las fibras, compresión perpendicular a las fibras, resistencia al cizallamiento, ensayo de flexión estática, tracción paralela a la fibra, y se identifican las fórmulas para el cálculo matemático.

3.4 OBTENCIÓN DE CERTIFICADO CALIBRACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS PARA LABORATORIO Y LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

En esta etapa se llevaron a cabo todas las labores de adecuación de los equipos. A la máquina universal se le generó una reparación, mantenimiento y se adecuó un montaje del dispositivo digital para la toma de las variables esfuerzo deformación (reparación y mantenimiento a cargo del ingeniero electrónico Rolando Barahona Cabrera), para la prensa hidráulica se solicitó el certificado de calibración al director de laboratorios, obteniendo como resultado los certificados Rosseberg Reingeniería S.A.S. (este certificado solo puede ser reproducido totalmente con la autorización de la metodología Rosseberg y por las representaciones Ltda).(ver anexo H).

3.5 OBTENCIÓN DE CANTIDAD DE PROBETAS POR ENSAYO

Para obtener la cantidad de probetas se debe utilizar un método estadístico el cual consiste por medio de la varianza de las maderas el nivel de confianza y el

porcentaje de error, calcular la muestra de probetas a ensayar por montaje y por estado. Sin tener en cuenta la población porque es infinita en las especies de madera.

$$n = \frac{z^2 \cdot S^2}{d^2} \quad [\text{Ec. 15}]$$

Dónde:

n: Número de muestras

Z: Nivel de confianza

S: Varianza

d: Error admisible

3.6 MATERIALES, EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS.

3.6.1 Materiales: fabricación de las probetas de madera y revisión de las medidas. Las probetas a fallar son 850 las cuales se fabricaron de acuerdo a las dimensiones estipuladas por las normas técnicas colombianas (NTC) y al equipo existente en el laboratorio de la Universidad de Nariño.

ENSAYOS	DIMENSIONES (cm)
Densidad básica	5x5x10
Resistencia a la flexión	2x2x30 y 2,5x2,5x30
Resistencia a la compresión paralela	2x2x5
Resistencia a la compresión perpendicular	5x5x10
Cizalladura	9X5x9 con cortes de 2cm forma de cruz
Dureza Brinell	5X5x10
Resistencia a la tracción paralela a las fibras	2x2x30 cm

Tabla 3. Dimensiones de probetas

3.6.2 Equipo para realización de ensayos mecánicos:

Prensa: Una prensa capaz de producir fuerza menores a 11000 libras, provista de dos crucetas móviles que se puede graduar de acuerdo con el tipo de ensayo, el equipo posee una palanca para producir el incremento de carga, un censor que mide el incremento de carga y diferentes piezas para realizar los montajes. (ver fotografía 1-2)



Fotografía 1. Prensa.



Fotografía 2. Censor de cargas.

Deflectómetro: instrumento que mide deformaciones instalado en la máquina para medir el incremento o registrar las deformaciones sufridas por la pieza de material. Las unidades de medida son milésimas de pulgada y tiene una capacidad para medir 1000 milésimas de pulgada. (ver fotografía 3)

Máquina universal: equipo utilizado para realizar el ensayo de tracción. La máquina trabaja hidráulicamente y es accionada por un motor eléctrico, además la máquina se encuentra conectada a un medio electrónico que sistematiza la información permitiendo un registro de todos los datos en una hoja programada. (Ver fotografía 4).



**Fotografía 3.
Deflectometro**



**Fotografía 4. Máquina
universal.**

3.6.3 Procedimientos. Realizar los ensayos para determinar la densidad básica, el contenido de humedad y las propiedades mecánicas de las 5 especies de madera.

Luego de rectificar las medidas establecidas en las NTC sean las que contengan las probetas, esto se realiza con un instrumento llamado pie de rey el cual tiene precisión al ± 1 mm además se pesan las probetas en estado natural con una balanza precisión al gramo, cada una de las probetas son debidamente identificadas con un número y el estado al cual se va aplicar el ensayo. (ver fotografía 5)



Fotografía 5. Proceso de pesaje con balanza e identificación de cada probeta.

Se lleva un registro de todos los datos tomados en formatos (ver formato 1- 6) que incluye la especie de madera, el tipo de ensayo, el estado de la probeta y su respectivo número.

3.6.4 Densidad básica. Con base la NTC 290 para determinar la densidad básica se toman 8 probetas de cada tipo de madera en estado verde que se sumergen cada una de ellas en agua para determinar la cantidad de agua desalojada.

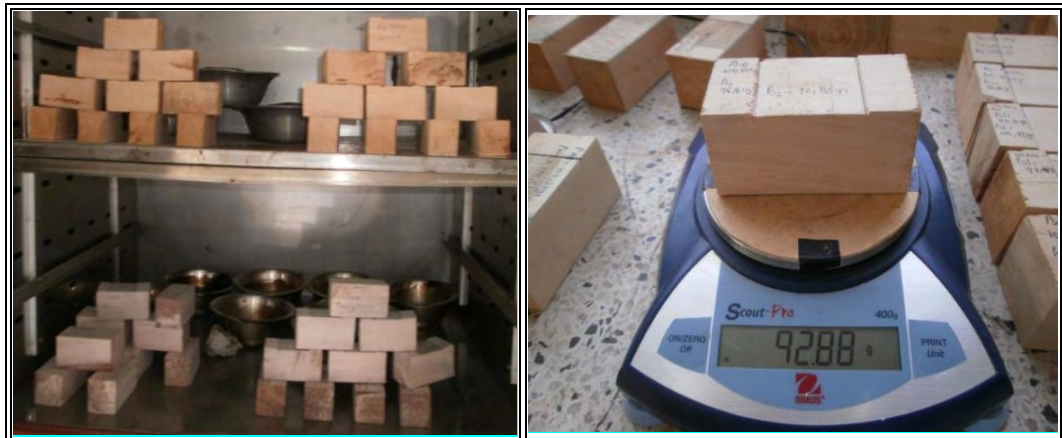
Luego se lleva el material estudiado al horno a una temperatura de 103 ± 2 °C durante 24 horas. Pasadas las 24 horas se saca las probetas del horno para posteriormente pesarlas. (ver fotografía 6).



Fotografía 6. Proceso de obtener la densidad básica

3.6.5 Contenido de humedad. Para someter las probetas a los diferentes ensayos es necesario determinar:

Contenido de humedad en estado natural: para obtención de dicho contenido se requiere conseguir el peso en su estado natural, y el peso anhidro, luego mediante la ecuación N°1 se obtiene el contenido de humedad en su estado natural. (ver fotografías 7).



Fotografía 7. Proceso para calcular contenido de humedad en Estado natural y seco.

Resistencia a la flexión estática: Para realizar este ensayo se debe tener en cuenta que las probetas cumplan con las siguientes dimensiones las cuales son 2x2x30cm y 2,5x 2,5x30cm. Cada probeta se coloca de tal forma que se encuentre alineada y centrada en la prensa; luego aplicar un incremento de carga por cada 10 milésimas de pulgada de variación de la deformación. (ver fotografía 8)



Fotografía 8. Ensayo de resistencia a la flexión

Resistencia a la compresión paralela a las fibras: Las piezas de madera a utilizar en este ensayo poseen las siguientes dimensiones 2x2x5 cm. Se aplica los esfuerzos a la probeta por medio de una palanca, los datos registrados son el incremento producido de carga por cada 10 milésimas de pulgada de variación de la deformación; este proceso se realiza hasta que la madera falla, o llegue a la carga máxima admitida por el equipo. (ver fotografía 9).



Fotografía 9. Ensayo de resistencia a la compresión paralela a las fibras

Resistencia a la compresión perpendicular a las fibras: Las probetas deben tener las siguientes dimensiones 5x5x10 cm, el ensayo debe tener una lámina metálica de sección 5x5 cm; el montaje consiste en producir un incremento de carga por cada 10 milésimas de pulgada de variación de deformación; el ensayo termina cuando la placa ha penetrado 2 mm sobre la probeta.(ver fotografía 10)



Fotografía 10. Probetas falladas de resistencia a la compresión perpendicular en estado húmedo.

Resistencia al corte o ensayo de cizalladura: El ensayo se realiza con probetas que tiene la forma de una cruz y poseen las siguientes dimensiones 9X5x9 con cortes de 2cm para formar la cruz, La probeta de madera se sitúa alineada y centrada en el montaje luego se procede a aplicar incrementos de carga por cada 10 milésimas de deformación hasta que la pieza de madera falle o hasta llegar a la carga máxima admitida por el equipo. (ver fotografía 11)



Fotografía 11. Ensayo de cizalladura

Dureza Brinell. El procedimiento de este ensayo consiste en utilizar probetas que presenten dimensiones 5x5x10 cm. El ensayo el cual consiste en generar presión a una de las caras de la probeta con una semiesfera con determinado diámetro ($D=10\text{mm}$), el cual penetra en la probeta hasta conseguir la penetración de la semiesfera. Finalmente se saca la probeta del montaje y se procede a medir con el pie de rey el diámetro (d) de la huella dejada por el balín. (ver fotografía 12).



Fotografía 12. Ensayo de dureza de Brinell.

Resistencia a la tracción paralela a las fibras: El ensayo consiste en colocar la pieza de madera de acuerdo a las dimensiones estipuladas por la norma NTC, se ajusta con las mordazas y se oprime el botón permitiendo que la máquina imprima esfuerzos de tracción a la probeta hasta fallarla. La máquina se encuentra conectada a un medio electrónico que sistematiza la información permitiendo un registro de todos los datos en una hoja programada no es necesario llevar un registro como los anteriores ensayos. (ver fotografía 13)



Fotografía 13. Ensayo de tracción paralela a las fibras

3.7 PROCESAMIENTO DE DATOS

Para realizar el procesamiento de los datos obtenidos en laboratorio se utilizaron diferentes formatos, uno donde registra los datos de laboratorio y los demás para realizar los cálculos respectivos de cada montaje.

4. ANÁLISIS DE DATOS

4.1 OBTENCIÓN DEL NÚMERO DE PROBETAS

La cantidad de la muestra para la realización de ensayos es 8 probetas mínimo por ensayo. Este dato se obtiene mediante la siguiente ecuación, en la cual la variable varianza para las maderas más utilizadas en la región de Nariño es del 14%, el nivel de confianza adoptado para los ensayos es del 95%, obteniendo un valor de z de 1.96 y el error admisible adoptado es del 10%.

$$\text{Número de muestra } (n) = \frac{1,96^2 * 0,14^2}{0,1^2} = 7,6$$

Sin embargo, la aplicación adopta en este trabajo de grado es de diez (10) probetas por ensayo, teniendo en cuenta que el material estudiado puede presentar algún desperfecto de corte o manipulación a la hora de realizar el diseño de cada probeta.

4.2 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA

ESPECIE MADERABLE	DENSIDAD (gr/Cm3)	GRUPO ESTRUCTURAL
PINO PATULA	0,52	C
SANDE	0,46	C
QUIEBRAFILO	0,67	B
CHANUL	0,681	B
GUAYACAN TREBOL	0,860	A

Tabla 4. Densidades básicas y clasificación en grupos estructurales según la Padt Refort

Las cinco especies pueden clasificarse como maderas de tipo estructural según el Padt Refort en los grupos A, B y C tal como aparece en la Tabla No4. La clasificación de las especies maderables en grupos estructurales también se puede realizar con el módulo de elasticidad promedio como lo estipula el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10), el cual dispone de seis grupos con módulos de elasticidad de mayor a menor y la siguiente nomenclatura ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6.

GRUPO	MODULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO E0,5 (kg/cm ²)	ESPECIE MADERABLE
S1	188.090,40	GUAYACAN TREBOL
S3	150.294,10	CHANUL
S4	130.971,40	QUIEBRAFILO
S6	99.956,00	SANDE
S6	96.680,10	PINO PATULA

Tabla 5. Módulo de elasticidad y clasificación en grupos estructurales según la NSR-10.

Según la tabla 5, las cinco especies estudiadas se pueden clasificar dentro de los seis grupos estructurales dispuestos en la NSR-10

4.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS DE RESISTENCIA POR CADA ENSAYO

4.3.1 Resistencia a la flexión:

Pino Pátula: Esta clase de madera se puede catalogar como un tipo de material muy flexible debido a que al aplicar el ensayo de flexión esta sufre una alta deformación, sin embargo al retirarse de la prensa la probeta trata de recuperar su estado original. Este proceso es más visible en estado húmedo y natural. El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la flexión de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD PINO PATULA						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	σ (Kg/cm ²)	C.H (%)	σ (Kg/cm ²)	C.H (%)	σ (Kg/cm ²)	C.H (%)
1	323	32,06	310	39,22	469	13,64
2	341	33,52	295	27,02	365	10,16
3	321	27,98	345	24,11	543	9,94
4	334	31,69	*43	24,97	360	10,28
5	211	29,75	343	33,27	502	9,46
6	237	26,62	350	27,14	559	7,01
7	306	29,21	*211	22,65	520	15,22
8	360	40,99	311	21,85	586	12,51
9	342	30,16	372	22,16	437	20,11
10	329	31,02	361	23,19	481	10,21
PROMEDIO	310,40	31,3	335,88	27,24	482,2	11,85

Tabla 6. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la flexión según el contenido de humedad Pino Patula.

* En la tabla 6, muestra valores que no son tenidos en cuenta en la realización del promedio y en el análisis de varianza, debido al análisis estadístico realizado por

el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 420,00 kg/cm², menor = 210,00 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 435,00 kg/cm², menor = 223,00 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 739,00 kg/cm², menor = 227,00 kg/cm²)

Sande: No es madera flexible ya que logra soportar carga hasta cierto límite y falla no permite que el material intente volver a su estado original. El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la flexión de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD SANDE						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	σ (Kg/cm ²)	C.H (%)	σ (Kg/cm ²)	C.H (%)	σ (Kg/cm ²)	C.H (%)
1	474	30,02	656	9,92	914	1,36
2	445	24,9	707	10,33	718	1,53
3	465	26,22	474	9,52	688	1,51
4	394	28,07	538	9,76	668	1,7
5	474	24,18	480	10,71	586	1,94
6	603	24,14	514	24,06	640	1,67
7	603	25,07	676	10,66	684	3,72
8	492	28,71	594	16,89	695	1,7
9	386	32,48	458	10,65	667	1,81
10	525	27,4	535	10,59	670	1,98
PROMEDIO	486,1	27,11	563,2	12,30	693	1,89

Tabla 7. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la flexión según el contenido de humedad Sande.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 712,87 kg/cm², menor = 263,87 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 934,75 kg/cm², menor = 204,75 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 761,5 kg/cm², menor = 599,5 kg/cm²)

Quiebrafilo. Es un tipo de madera que soporta cargas altas y sufre pequeños incrementos de deformación o a que simple vista no se evidencian, debido a que no es una madera flexible. El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la flexión de este tipo de madera es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD QUIEBRAFILO						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	σ (kg/cm ²)	C.H (%)	σ (kg/cm ²)	C.H (%)	σ (kg/cm ²)	C.H (%)
1	802	18,08	695	14,8	847	9,76
2	786	16,42	821	14,44	800	8,37
3	797	17,67	781	14,22	800	7,67
4	698	15,27	748	13,91	835	8,65
5	719	18,65	719	14,13	897	7,78
6	705	15,27	688	14,87	722	6,7
7	767	17,21	774	12,57	923	7,37
8	655	18,72	722	15,24	814	6,32
9	748	18,63	759	12,05	835	8,17
10	752	15,29	*641	11,84	807	9,03
PROMEDIO	742,9	17,12	745,22	14,025	828	7,98

Tabla 8. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la flexión según el contenido de humedad Quebra filo.

* En la tabla 8, indica valores que no son tenidos en cuenta en la realización del promedio y en el análisis de varianza debido al análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 917,00 kg/cm², menor = 575,00 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 899,5 kg/cm², menor = 641,56 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 948,75 kg/cm², menor = 710,75 kg/cm²)

Chanul: Es una madera que tiende a soportar altos incrementos de carga por lo tanto desarrolla pequeñas deformaciones, existe una ruptura temprana de la probeta. De acuerdo al estado y contenido de humedad en que se encuentre la probeta dependerá su deformación y su resistencia.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la flexión de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION SEGUN EL CONTENIDO DE HUMEDAD CHANUL						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	σ (kg/cm ²)	C.H (%)	σ (kg/cm ²)	C.H (%)	σ (kg/cm ²)	C.H (%)
1	986	8,36	922	10,44	1209	3,69
2	893	11,61	1004	7,06	796	3,57
3	1046	11,47	1057	6,23	1493	3,06
4	1092	12,07	1077	8,66	1089	2,21
5	919	13,27	1094	9,74	1269	1,99
6	1072	12	753	9,32	960	3,5
7	979	10,69	891	6,51	1057	2,59
8	1045	11,11	1175	6,51	1269	3,13
9	1037	12,7	1122	7,28	821	3,18
10	984	11,4	1124	9,67	1091	1,94
PROMEDIO	1005,3	11,47	1021,9	8,14	1105,4	2,89

Tabla 9. Comparación de esfuerzos últimos de la resistencia a la flexión según el contenido de humedad Chanul.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 1185,25 kg/cm², menor = 831,25 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 1434,87 kg/cm², menor = 601,87 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 1784,62kg/cm², menor = 409,62 kg/cm²)

Guayacán Trébol: No es un tipo de madera flexible es una madera que llega hasta cierto límite de flexibilidad y falla. La gráfica que se realiza es directamente proporcional a medida que se adiciona un incremento de carga esta experimenta una mayor deformación.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la flexión de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION SEGUN EL CONTENIDO DE HUMEDAD GUAYACAN TREBOL						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	σ (kg/cm ²)	C.H (%)	σ (kg/cm ²)	C.H (%)	σ (kg/cm ²)	C.H (%)
1	1013	54,89	975	27,92	1215	0,95
2	835	52,71	816	42,81	1187	0,91
3	819	51,92	871	39,22	1301	1,17
4	845	47,53	1161	30,58	1277	0,7
5	724	58,7	1073	26,08	1168	0,78
6	719	49,59	987	23,92	1151	0,83
7	724	49,1	859	36,61	1348	1,29
8	726	55,25	890	28,79	1251	1,25
9	731	55,68	954	28,12	961	0,9
10	731	52,12	937	31,3	1021	1,11
PROMEDIO	786,7	52,75	952,3	31,53	1188	0,99

Tabla 10. Comparación de esfuerzos últimos de la resistencia a la flexión según el contenido de humedad Guayacán Trébol.

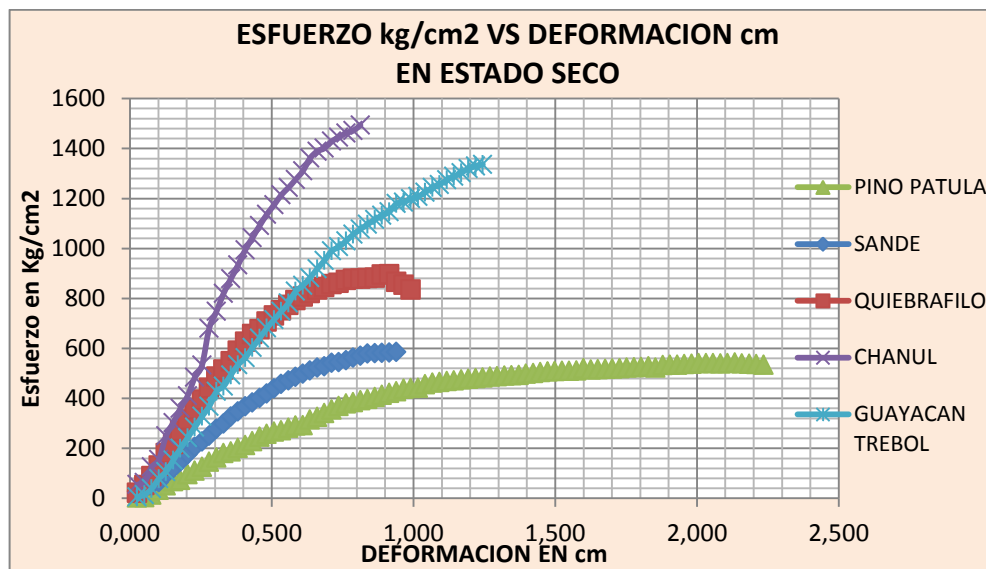
El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil nos da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 1007,75 kg/cm², menor = 553,75 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 1219,25 kg/cm², menor = 657,25 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 1529,75 kg/cm², menor = 871,21 kg/cm²)

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la flexión: Comparación de los 5 tipos de madera en estado seco.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION EN ESTADO SECO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO RESISTENCIA A LA FLEXION kg/cm ²	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO RESISTENCIA A LA FLEXION kg/cm ²	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm ³)
PINO PATULA	586	12,51	482,2	11,85	0,52
SANDE	718	1,53	693	1,89	0,46
QUIEBRA FILO	923	7,78	828	7,98	0,67
CHANUL	1493	3,06	1105,04	2,89	0,68
GUAYACAN TREBOL	1348	1,29	1188	0,99	0,86

Tabla 11. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la flexión en estado seco.



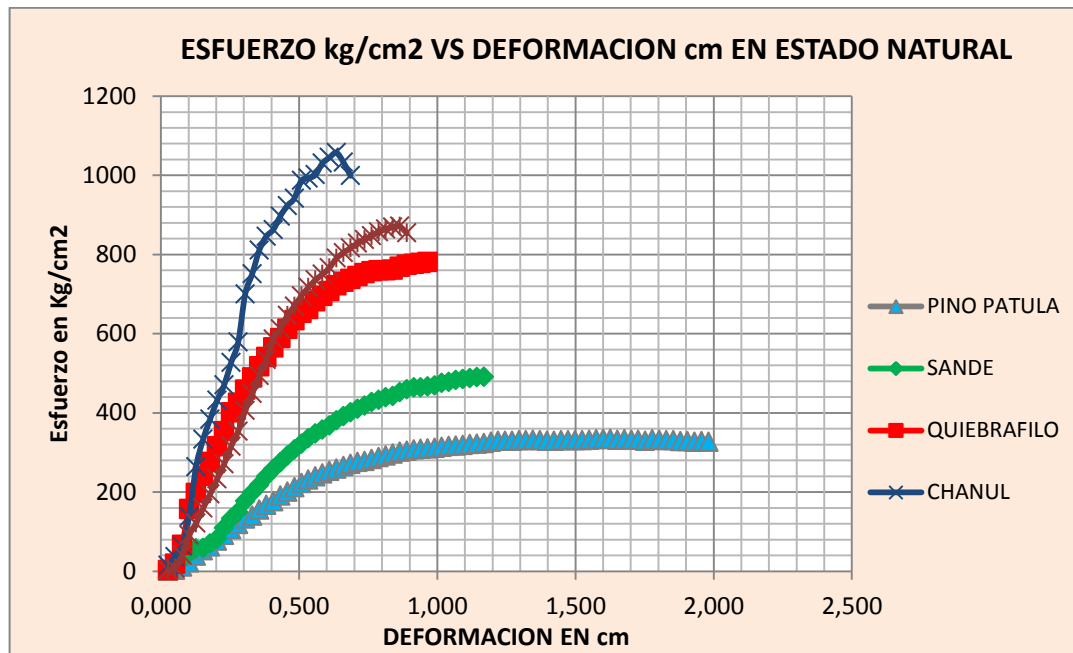
Grafica 1. Resistencia a la flexión de las 5 especies de maderas en estado seco.

Según los resultado de la tabla 11 y la gráfica 1, se puede concluir que aunque la madera Pino Pátula posee una gran área de ductilidad de sus fibras permitiendo que la probeta se defleccione en un alto grado pero que en ocasiones no falle. Esto no quiere decir que sea la más resistente a la flexión, porque existen maderas como Chanul y Guayacán trébol que soportan mayor cantidad de carga pero el rango de deformación es en un menor grado. Ver detalles de resistencia a la flexión (anexo A)

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la flexión: Comparación de los 5 tipos de madera en estado natural.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION EN ESTADO NATURAL DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO RESISTENCIA A LA FLEXION kg/cm2	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO RESISTENCIA A LA FLEXION kg/cm2	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm3)
PINO PATULA	372	27,14	335,88	27,24	0,52
SANDE	707	24,06	563,2	12,30	0,46
QUIEBRA FILO	781	15,24	745,22	14,025	0,67
CHANUL	1175	10,44	1021,9	8,14	0,68
GUAYACAN TREBOL	1161	42,81	952,3	31,53	0,86

Tabla 12. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la flexión en estado natural.

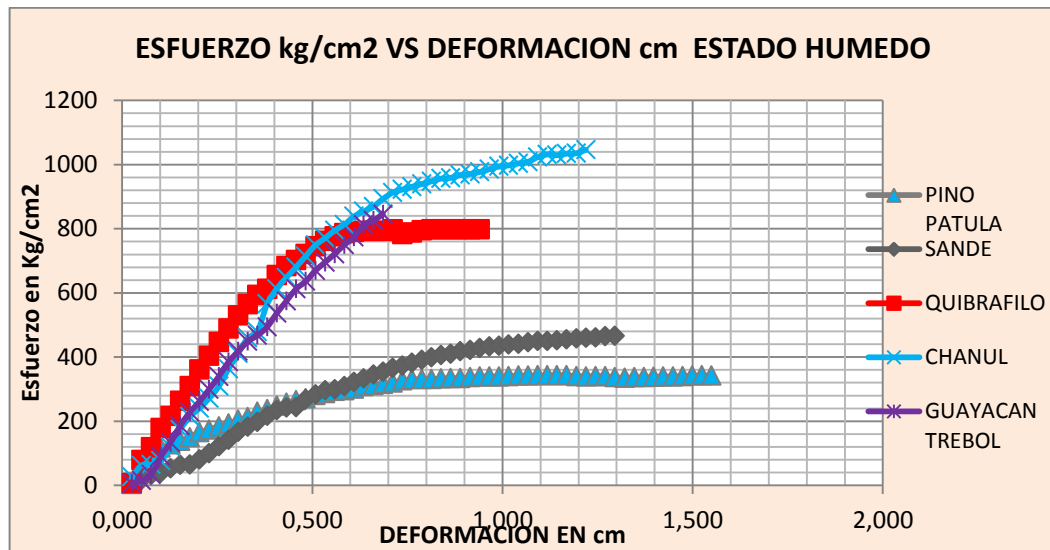


Grafica 2. Resistencia a la flexión de las 5 especies de maderas En estado natural.

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la flexión: Comparación de los 5 tipos de madera en estado húmedo.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION EN ESTADO HUMEDO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO RESISTENCIA A LA FLEXION kg/cm2	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO RESISTENCIA A LA FLEXION kg/cm2	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm3)
PINO PATULA	329	30,16	310,40	31,3	0,52
SANDE	474	24,18	486,1	27,11	0,46
QUIEBRA FILO	797	18,72	742,9	17,12	0,67
CHANUL	1092	12,07	1005,3	11,47	0,68
GUAYACAN TEBOL	1013	55,68	786,7	52,75	0,86

Tabla 13. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la flexión en estado húmedo.



Grafica 3. Resistencia a la flexión de las 5 especies de maderas en estado húmedo.

4.3.2 Resistencia a la compresión paralela a las fibras:

Pino Pátula: El comportamiento que experimenta esta clase de madera cuando se suministra un incremento de carga es el pandeo. El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la compresión paralela de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD PINO PATULA									
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO			ESTADO NATURAL			ESTADO SECO		
	σ kg/cm ²	σ_L Kg/cm ²	C.H (%)	σ kg/cm ²	σ_L kg/cm ²	C.H (%)	σ kg/cm ²	σ_L kg/cm ²	C.H (%)
1	184,05	141,84	34,51	273,34	245,06	14,02	380,2	327,35	2,11
2	196,39	155,51	27,74	278,36	246,09	14,29	401,61	334,4	0,73
3	188,01	167,58	28,93	260,28	220,09	12,82	335,21	267,13	0,49
4	212,54	183,52	27,53	263,02	225,32	14,7	389,86	338,96	0,38
5	183,89	149,105	35,19	266,51	224,37	14,7	349,26	313,98	1,92
6	192,42	166,28	28,9	226,5	203,47	14,63	367,53	322,97	1,75
7	174,02	143,9	36,32	260,19	219,81	14,05	395,48	297,08	1,25
8	194,29	152,36	35,77	249,84	230,6	14,81	369,65	321,19	1,41
9	198,9	139,98	37,82	275,34	229,16	14,62	352,15	297,68	0,25
10	193,54	150,44	29,49	281,18	243,55	14,47	362,67	317,13	0,65
PROMEDIO	191,80	155,05	32,22	266,46	228,75	14,31	370,36	313,78	1,09

Tabla 14. Comparación de resistencia a la compresión paralela según el contenido de humedad Pino Pátula.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 215,14 g/cm², menor = 165,14 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 307,83 kg/cm², menor = 229,87 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 451,21 kg/cm², menor = 291,67 kg/cm²)

Sande: La gráfica que se realiza en este ensayo es directamente proporcional a medida que se suministra una mayor carga esta experimenta un incremento de deformación. El pandeo es la falla que se presenta en esta clase de madera cuando se la somete al ensayo de compresión paralela.

La carga soportada por la pieza de madera depende del contenido de humedad por lo tanto en la siguiente tabla se muestra el promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la compresión paralela de este tipo de madera es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD SANDE									
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO			ESTADO NATURAL			ESTADO SECO		
	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)
1	201,37	150,61	39,29	357,78	300,1	8,59	487,14	446,53	0,97
2	223,69	205,6	30,43	359,44	331,95	8,67	552,1	485,43	0,43
3	238,87	212,06	32,6	343,47	255,15	8,11	494,11	474,03	1,08
4	219,93	214,68	33,11	352,71	329,33	8,11	526,49	468,11	0,54
5	239,79	211,45	30,96	349,21	332,96	8,14	495,97	436,52	0,96
6	228,79	207,3	34,37	328,31	301,04	8,46	569,61	569,61	1,04
7	229,92	199,67	42,33	361,12	305,58	8,84	516,42	481,93	0,56
8	240,97	211,53	29,92	*310,18	*207,84	8,86	569,45	515,9	1,43
9	239,55	212,54	31,15	355,99	328,28	8,98	591,88	562,3	0,99
10	234,43	195,25	31,42	358,41	247,73	8,43	482,73	464,03	1,33
PROMEDIO	229,731	202,06	33,55	351,82	303,56	8,48	528,59	490,44	0,93

Tabla 15. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión paralela según el contenido de humedad Sande

* En la tabla 15, muestra valores que no son tenidos en cuenta en la realización del promedio y en el análisis de varianza, debido al análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 264,9 kg/cm², menor = 197,46 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 387,15 kg/cm², menor = 311,20 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 685,17 kg/cm², menor = 376,68 kg/cm²)

Quiebrafilo: Las probetas de este tipo de madera sometidas al ensayo de compresión paralela, fallan debido al aplastamiento generado por la aplicación del incremento de carga.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la compresión paralela de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD QUIEBRA FILO									
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO			ESTADO NATURAL			ESTADO SECO		
	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)
1	530,76	444,34	31,06	430,25	375,58	20,76	572,62	499,8	7,49
2	402,98	347,26	28,83	465,35	422,04	22,57	769,67	696,31	7,79
3	395,9	350,74	24,47	441,69	387,32	26,74	660,03	575,76	7,82
4	410,81	341,7	29,18	477,67	453,67	29,81	689,08	566,22	6,45
5	452,78	408,51	31,63	461,92	358,42	31,79	648,38	437,39	7,39
6	420,33	349,87	33,1	428,69	403,7	31,79	629,56	561,66	6,05
7	450,82	415,12	28,41	422,44	422,44	38,92	839,28	801,75	5,78
8	412,14	352,3	32,81	460,98	434,09	26,05	631,01	598,53	7,59
9	433,65	345,6	29,66	435,25	361,34	28,59	683,09	696,31	4,64
10	502,7	375,35	29,34	442,76	375,61	30,47	717,19	557,72	6,38
PROMEDIO	441,29	373,079	29,85	446,7	399,42	28,75	683,99	599,14	6,74

Tabla16. Comparación de resistencia a la compresión paralela según el contenido de humedad Quiebra Filo.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 549,87 kg/cm², menor = 324,24 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 512,15 kg/cm², menor = 380,48 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 879,80 kg/cm², menor = 481,15 kg/cm²)

Chanul: la consecuencia por la cual falla la madera a este tipo de ensayo es la reducción de su esbeltez, la falla por pandeo se presenta en pocas probetas y con contenido de humedad muy elevado, el promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la compresión paralela de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD CHANUL									
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO			ESTADO NATURAL			ESTADO SECO		
	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)
1	*54,75	*31,78	21,84	466,04	382,58	12,73	800,7	632,08	1,05
2	402,38	337,41	22,09	442,02	404,03	13,04	736,3	612,92	0,9
3	376,2	315,4	21,26	430,35	391,11	13,85	699,01	642,89	0,77
4	369,57	302,92	21,42	425,21	376,89	13,04	746,27	715,61	3,37
5	382,75	263,42	21,49	439,38	390,16	13,33	770,86	759,41	0,15
6	345,95	308,05	16,95	446,95	402,37	12,28	721,1	634	1,16
7	380,7	271,37	22,08	452,31	431,52	10,95	772,21	617,43	1,05
8	384,25	349,13	20,9	470,01	417,18	12,3	673,92	594,53	0,92
9	400,91	320,94	21,8	417,21	345,17	14,07	675,25	650,58	0,92
10	390,02	354,91	22,88	476,01	429,98	12,18	607,31	550,85	1,09
PROMEDIO	381,41	313,72	21,21	446,55	397,1	12,77	720,30	641,03	1,14

Tabla 17. Comparación de esfuerzos últimos resistencia a la compresión paralela según el contenido de humedad Chanul.

* En la tabla 17, muestra valores que no son tenidos en cuenta en la realización del promedio y en el análisis de varianza, debido al análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 436,30 kg/cm², menor = 320,48 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 523,98 kg/cm², menor = 372,11 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 915,61 kg/cm², menor = 539,49 kg/cm²)

Guayacán Trébol: Por ser un tipo de madera muy resistente soporto muchos incrementos de carga y poca deformación, pero la falla se presenta debido a la reducción de esbeltez de la pieza de madera. El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la compresión paralela de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA SEGUN EL CONTENIDO DE HUMEDAD GUAYACAN TREBOL									
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO			ESTADO NATURAL			ESTADO SECO		
	σ (Kg/cm2)	σ_L (Kg/cm2)	C.H (%)	σ (Kg/cm2)	σ_L (Kg/cm2)	C.H (%)	σ (Kg/cm2)	σ_L (Kg/cm2)	C.H (%)
1	466,65	441,33	24,94	422,12	411,15	19,24	699,9	639,44	1,08
2	398,26	320,24	24,88	432,01	418,47	28,74	721,52	538,95	1,91
3	355,16	286,92	23,11	426,03	382,81	29,86	912,53	821,37	1,13
4	392,05	311,88	27,2	492,82	451,34	20,99	772,61	728,03	1,32
5	382,01	315,97	25,72	472,53	465,21	13,74	610,72	544,91	3,54
6	435,3	352,5	25,31	454,21	345,6	14,25	890,98	847,48	1,47
7	398,79	391,33	28	453,86	325,54	24,88	943,07	735,28	1,33
8	361,64	345,66	27,01	465,74	393,74	19,64	805,86	703,06	1,66
9	320,7	289,48	30,03	472,22	447,59	22,72	733,11	733,11	2,17
10	401,8	390,09	27,18	433,48	324,91	23,5	747,28	735,48	1,48
PROMEDIO	391,23	344,54	26,34	452,50	396,64	21,76	783,76	702,71	1,71

Tabla 18. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión paralela según el contenido de humedad Guayacán trébol.

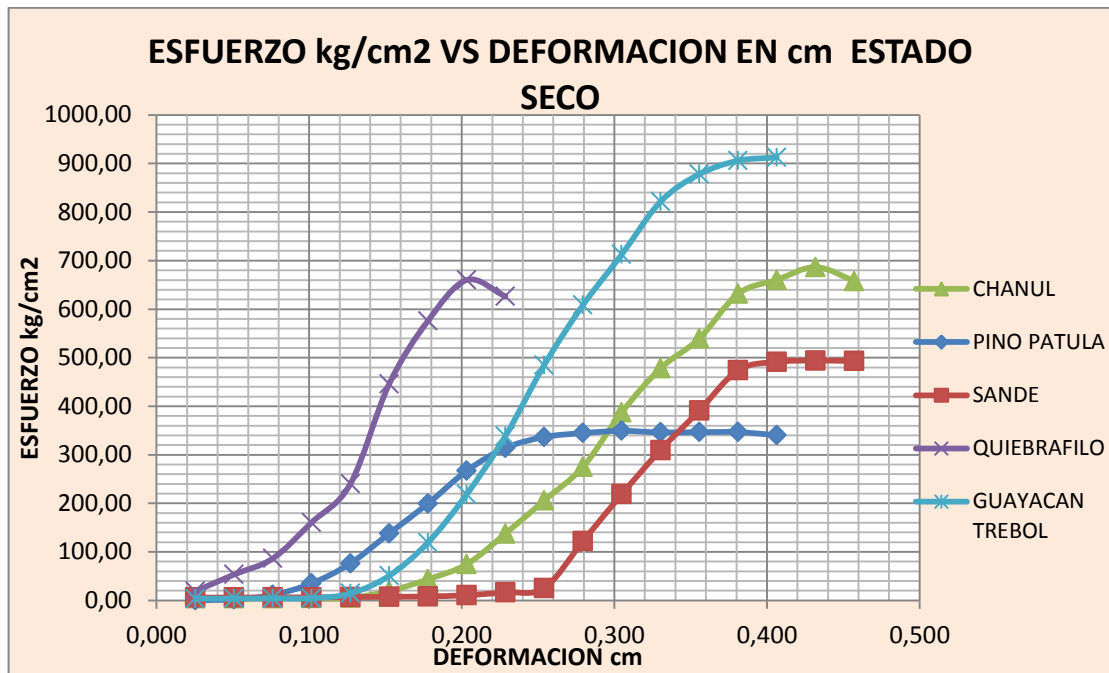
El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 485,41 kg/cm², menor = 284,78 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 534,97 kg/cm², menor = 367,84 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 1166,75 kg/cm², menor = 445,74 kg/cm²)

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la compresión paralela: Comparación de los 5 tipos de madera en estado seco.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA EN ESTADO SECO					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO RESISTENCIA LA COMPRESION PARALELA kg/cm2	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA kg/cm2	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm3)
PINO PATULA	389,86	0,38	370,6	1,09	0,52
SANDE	569,61	1,04	528,59	0,93	0,46
QUIEBRA FILO	769,67	7,79	683,99	6,74	0,67
CHANUL	772,21	1,05	720,30	1,41	0,68
GUAYACAN TREBOL	890,98	1,47	783,73	1,71	0,86

Tabla 19. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la compresión paralela estado seco.



Gráfica 4. Resistencia a la compresión paralela de las 5 especies de maderas en estado seco.

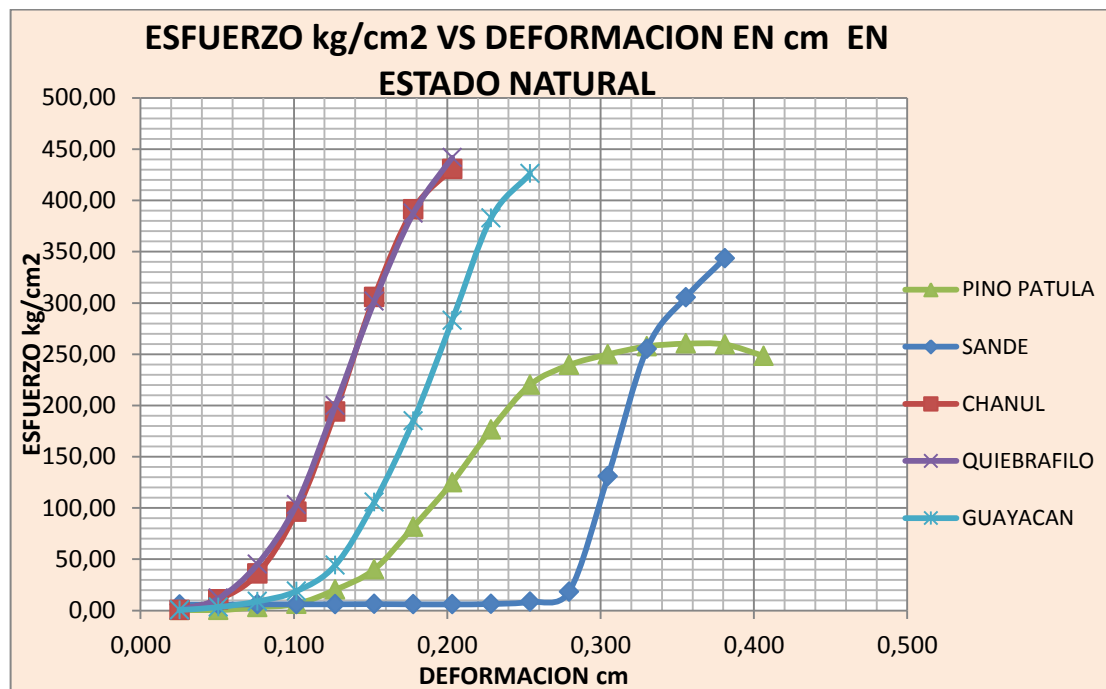
Según los resultados de la tabla 19 y la gráfica 4, la variación de resistencia depende de las características y propiedades de cada tipo de madera por lo cual se puede deducir que las maderas como Quebrafilo, Chanul y Guayacán Trébol poseen resistencias muy altas, aproximadamente el 50% más resistentes que las maderas Pino Patula y Sande. Esto se debe a que estos 3 tipos de maderas son maderas duras o densidades altas, es decir que sus fibras se encuentran más entrelazadas o entretejidas, tiene un mayor agarre cada una de sus partículas; propiedad que las hace más resistentes; característica que no poseen maderas blandas como Pino Pátula y Sande.

Este tipo de ensayo se realiza para determinar cuál será el comportamiento de cada tipo de madera, cuando en una estructura se encuentre funcionando como una columna, y encontrar las posibles fallas del elemento cuando se presente una mayor concentración de esfuerzos en la estructura. Ver detalles de resistencia a la compresión paralela (anexo B)

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la compresión paralela a las fibras
Comparación de los 5 tipos de madera en estado natural.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA A LAS FIBRAS ESTADO NATURAL DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO RESISTENCIA LA COMPRESION PARALELA kg/cm2	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA kg/cm2	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm3)
PINO PATULA	278,36	14,82	266,46	14,31	0,52
SANDE	361,12	8,98	351,82	8,48	0,46
QUIEBRA FILO	477,67	38,92	446,7	28,75	0,67
CHANUL	476,01	13,85	446,55	12,76	0,68
GUAYACAN TREBOL	492,82	29,86	452,50	21,76	0,86

Tabla 20. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la compresión paralela en estado natural.

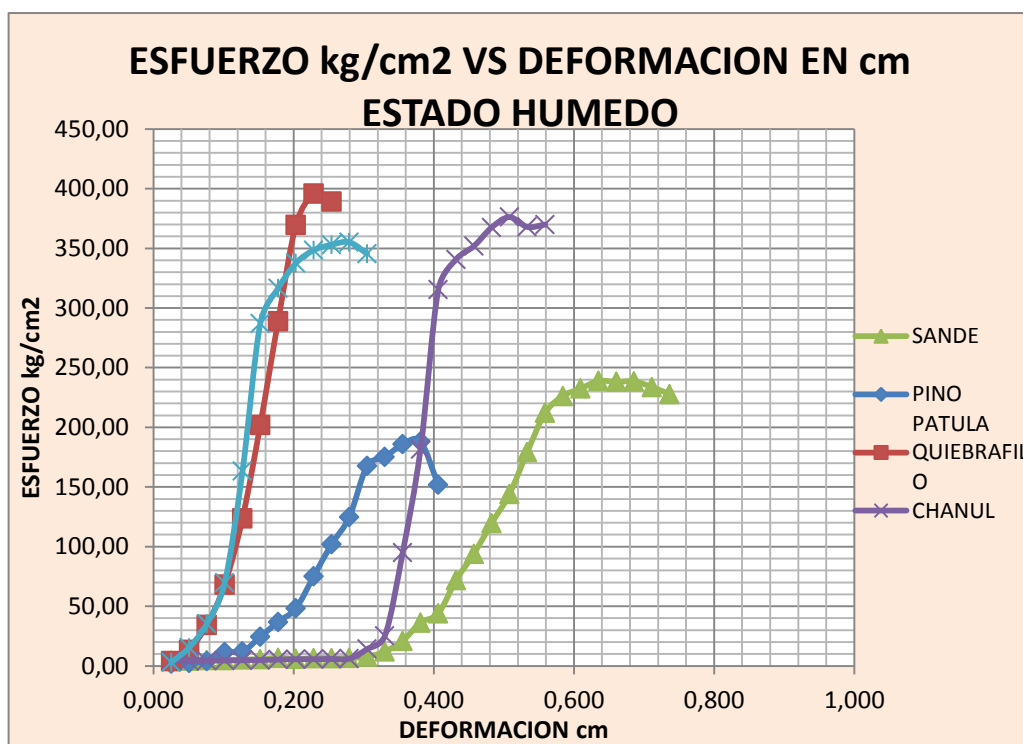


Grafica 5. Resistencia a la compresión paralela de las 5 especies de maderas en estado natural.

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia compresión paralela a las fibras: Comparación de los 5 tipos de madera en estado húmedo.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA A LAS FIBRAS ESTADO HUMEDO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO RESISTENCIA LA COMPRESION PARALELA kg/cm2	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA kg/cm2	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm3)
PINO PATULA	198,9	37,82	191,80	32,22	0,52
SANDE	240,97	42,33	229,73	33,55	0,46
QUIEBRA FILO	530,76	29,66	441,29	29,85	0,67
CHANUL	402,32	22,88	381,41	21,21	0,68
GUAYACAN TREBOL	466,65	27,18	391,23	26,34	0,86

Tabla 21. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la compresión paralela en estado húmedo.



Gráfica 6. Resistencia a la compresión paralela de las 5 especies de maderas en estado húmedo.

4.3.3 Resistencia a la compresión perpendicular a las fibras:

Pino Patula. La madera no presenta un mayor esfuerzo o resistencia a la penetración de la lámina metálica, por lo tanto, no es una madera muy resistente a la compresión perpendicular.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la compresión perpendicular de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD PINO PATULA									
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO			ESTADO NATURAL			ESTADO SECO		
	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)
1	78,13	49,47	25,03	92,94	76,38	9,77	*150,02	*130,72	4,1
2	72,5	52,67	21,56	94,73	79,49	11,7	101,74	83,17	3,86
3	*95,89	*69,53	24,94	72,86	57,01	9,72	121,53	107,07	4,58
4	69,53	49,23	23,54	96,65	76,47	11,54	103,23	68,44	3,92
5	68,73	46,64	25,23	117,24	79,22	10,82	113,88	102,36	4,28
6	73,48	52,08	22,81	80,62	52,44	13,49	101,69	97,6	3,97
7	73,68	50,32	21,51	76,09	64,29	13,36	116,82	97,6	4,21
8	69,35	48,8	24,04	74,51	52,96	13,24	114,07	103,18	4,29
9	65,92	34,95	24,98	82,26	65,72	11,79	106,18	95,67	4,24
10	78,66	60,94	21,61	98,48	80,02	10,74	113,04	96,96	4,26
PROMEDIO	72,22	49,45	23,52	83,64	68,4	11,62	110,24	94,67	4,17

Tabla 22. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión perpendicular según el contenido de humedad Pino patula.

* En la tabla 22, muestra valores que no son tenidos en cuenta en la realización del promedio y en el análisis de varianza, debido al análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil nos da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 91,86 kg/cm², menor = 55,59 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 129,23 kg/cm², menor = 43,58 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 140,71 kg/cm², menor = 80,15 kg/cm²)

Sande: Es un tipo de madera muy blanda y porosa, debido a esto su resistencia a la compresión perpendicular es baja, consecuencia por la cual la madera no presenta una mayor resistencia a la penetración de una lámina metálica.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la compresión perpendicular de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD SANDE									
Nº PROBET A	ESTADO HUMEDO			ESTADO NATURAL			ESTADO SECO		
	σ (Kg/cm ²)	σ_L (Kg/cm ²)	C.H (%)	σ (Kg/cm ²)	σ_L (Kg/cm ²)	C.H (%)	σ (Kg/cm ²)	σ_L (Kg/cm ²)	C.H (%)
1	40,82	25,88	28,61	52,08	40,01	11,88	87,1	59,43	1,67
2	42,93	31,49	31,29	51,28	34,1	9,47	71,14	48,38	1,68
3	55,77	37,73	18,72	47,66	29,39	10	65,3	46,6	1,4
4	42,76	17,9	26,36	54,36	39,59	10,31	77,44	43,07	2,34
5	54,47	48,91	17,56	46,59	37	9,64	70,49	47,28	1,46
6	42,73	31,69	24,95	70,83	63,13	11,03	67,37	34,9	1,41
7	43,13	33,78	26,05	47,22	33,94	10,41	73,84	44,76	1,45
8	53,2	22,61	22,09	48,89	32,54	10,58	71,12	48,18	1,21
9	56,66	28,29	25,96	69,07	61,05	10,03	85,11	66,59	1,81
10	44,19	22,03	25,16	45,64	37,87	11,2	85,16	76,01	1,91
PROMEDIO	47,66	30,03	24,67	53,36	40,86	10,45	75,40	51,52	1,63

Tabla 23. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión perpendicular según el contenido de humedad Sande

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil nos da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 72,86kg/cm², menor = 24,69 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 74,5 kg/cm², menor = 30,6 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 108,24 kg/cm², menor = 46,59 kg/cm²)

Quiebrafilo: Dependiendo del estado y contenido de humedad en que se encuentre la probeta dependerá su deformación y su resistencia.

Este tipo de madera es capaz de soportar altos incrementos de carga sin lograr penetrar los 2mm de la pieza metálica.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la compresión perpendicular de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD QUIEBRA FILO									
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO			ESTADO NATURAL			ESTADO SECO		
	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)
1	155,4	134,78	57,15	152,41	145,18	15,65	175,53	167,48	0,94
2	133,31	133,31	50,19	163,13	125,99	22,34	169,28	145,47	1,2
3	156,21	139,27	56,19	154,85	122,18	20,88	155	112,4	0,46
4	145,65	111,8	53,01	178,54	156,05	23,06	162,36	150,65	1,1
5	155,13	111,96	56,76	172,43	157,93	18,35	172,43	146,17	0,36
6	155,85	141,59	54,41	179,16	158,12	17,95	182,43	125,68	1,04
7	144,26	138,09	50,58	164,89	157,68	17,26	189,54	118,25	0,63
8	136,24	136,24	52,3	170,45	162,65	17,26	186,6	167,77	1,17
9	154,36	112,14	52,09	159	159	19,44	189,25	168,97	0,96
10	158,95	112,6	52,58	182,81	118,43	17,95	190,17	118,34	0,73
PROMEDIO	149,54	127,18	53,54	167,78	146,32	19,02	177,26	142,12	0,86

Tabla 24. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión perpendicular según el contenido de humedad Quebra filo.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 176,47 kg/cm², menor = 121,73 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 209,79 kg/cm², menor = 126,86 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 221,98 kg/cm², menor = 134,89 kg/cm²)

Chanul: es un tipo de madera muy densa capaz resistir altos incrementos de carga y sufrir pocas deformaciones; debido a esto el material ofrece una alta resistencia a penetrar la placa metálica.

Algunas probetas no fallaron por que la carga suministrada a la probeta alcanzaba el límite admitido por el equipo utilizado. El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la compresión perpendicular de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD CHANUL									
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO			ESTADO NATURAL			ESTADO SECO		
	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	σ_l (kg/cm ²)	c.h (%)
1	182,94	95,89	12,99	190,73	143,44	14,87	185,11	185,11	2,34
2	184,1	128,13	17,25	168,79	107,43	15,83	188,01	161,02	1,81
3	181,42	123,09	16,11	177,41	142,37	11,53	185,69	149,73	2,08
4	174,41	111,58	14,66	168,84	118,6	9,88	196,46	196,46	2,45
5	172,85	137,73	14,97	161,56	117,73	11,15	189,08	189,08	1,7
6	179,24	138,53	14,4	186,22	137,44	10,47	198,03	198,03	2,72
7	180,26	138,91	14,08	182,5	143,06	11,14	190,24	190,24	1,07
8	176,4	155,27	17,15	187,62	152,99	5,59	187,25	160,47	1,69
9	183,54	138,91	13,98	176,24	124,36	12,85	194,57	194,57	1,9
10	170,26	163,37	18,03	192,16	143,62	13,52	192,16	192,16	1,64
PRO MEDIO	178,54	133,141	15,36	179,21	133,10	11,68	190,66	181,69	1,94

Tabla 25. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión perpendicular según el contenido de humedad Chanul.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 196,69 kg/cm², menor = 160,41 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 217,75 kg/cm², menor = 139,47 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 207,32 kg/cm², menor = 174,59 kg/cm²)

Guayacán Trébol: Es un tipo de madera muy densa entre las estudiadas es el material más duro, por lo tanto los resultados obtenidos en el ensayo muestran una alta resistencia a penetrar los 2 mm de la placa metálica.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la compresión perpendicular de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD GUAYACAN TREBOL									
Nº PROBET A	ESTADO HUMEDO			ESTADO NATURAL			ESTADO SECO		
	σ (Kg/cm ²)	σ_L (Kg/cm ²)	C.H (%)	σ (Kg/cm ²)	σ_L (Kg/cm ²)	C.H (%)	σ (Kg/cm ²)	σ_L (Kg/cm ²)	C.H (%)
1	158,1	158,1	53,12	185,11	185,11	19,24	136,32	79,85	3,48
2	187,76	187,76	22,98	179,57	179,57	28,74	198,07	198,07	0,69
3	185,11	173,3	24,88	188,85	188,85	16,2	194,34	187,11	0,82
4	161,51	161,56	24,15	193,13	165,22	15,17	198,43	187,23	1,2
5	175,42	172,23	26,49	190,55	115,61	15,63	198,41	197,8	1,43
6	183,45	183,45	22,82	185,11	168,23	16,21	198,45	194,3	1,13
7	186,07	186,07	22,98	185,91	184,95	16,73	188,85	185,51	0,71
8	189,54	145,3	25,2	186,93	161,56	18,09	190,91	190,91	1,92
9	174,26	174,26	26,49	191,18	184,01	17,02	190,24	129,72	1,1
10	186,24	136,37	24,96	188,19	188,19	15,73	198,96	198,96	0,85
PROMEDIO	178,75	167,84	27,41	187,45	187,45	17,88	189,30	174,95	1,33

Tabla 26. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la compresión perpendicular según el contenido de humedad Guayacán Trébol.

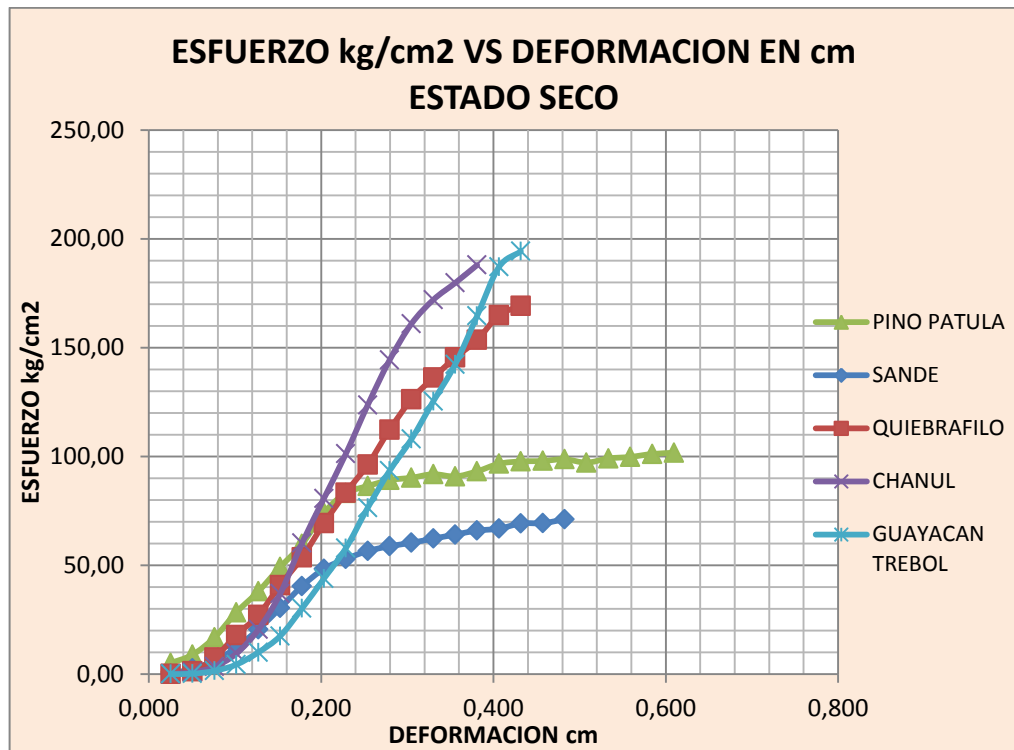
El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 209,94 kg/cm², menor = 147,75 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 199,10 kg/cm², menor = 176,71 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 211,25 kg/cm², menor = 177,08 kg/cm²)

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la compresión perpendicular: Comparación de los 5 tipos de madera en estado seco.

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR EN ESTADO SECO					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULA R kg/cm ²	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULA R kg/cm ²	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm ³)
PINO PATULA	116,82	4,21	110,24	4,16	0,52
SANDE	85,11	1,81	75,40	1,63	0,46
QUIEBRA FILO	190,17	0,73	177,26	0,86	0,67
CHANUL	194,57	1,9	190,66	1,94	0,68
GUAYACAN TREBOL	198,96	0,66	189,30	1,33	0,86

Tabla 27. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la compresión perpendicular estado seco.



Gráfica 7. Resistencia a la compresión perpendicular de las 5 especies de maderas en estado seco.

Los ensayos de compresión paralela y perpendicular son utilizados para simular el comportamiento de una columna cuando se aplican las cargas de servicios de una estructura, por lo tanto, permite seleccionar de la tabla 27 y gráfica 7, las maderas más resistentes para este tipo de esfuerzo.

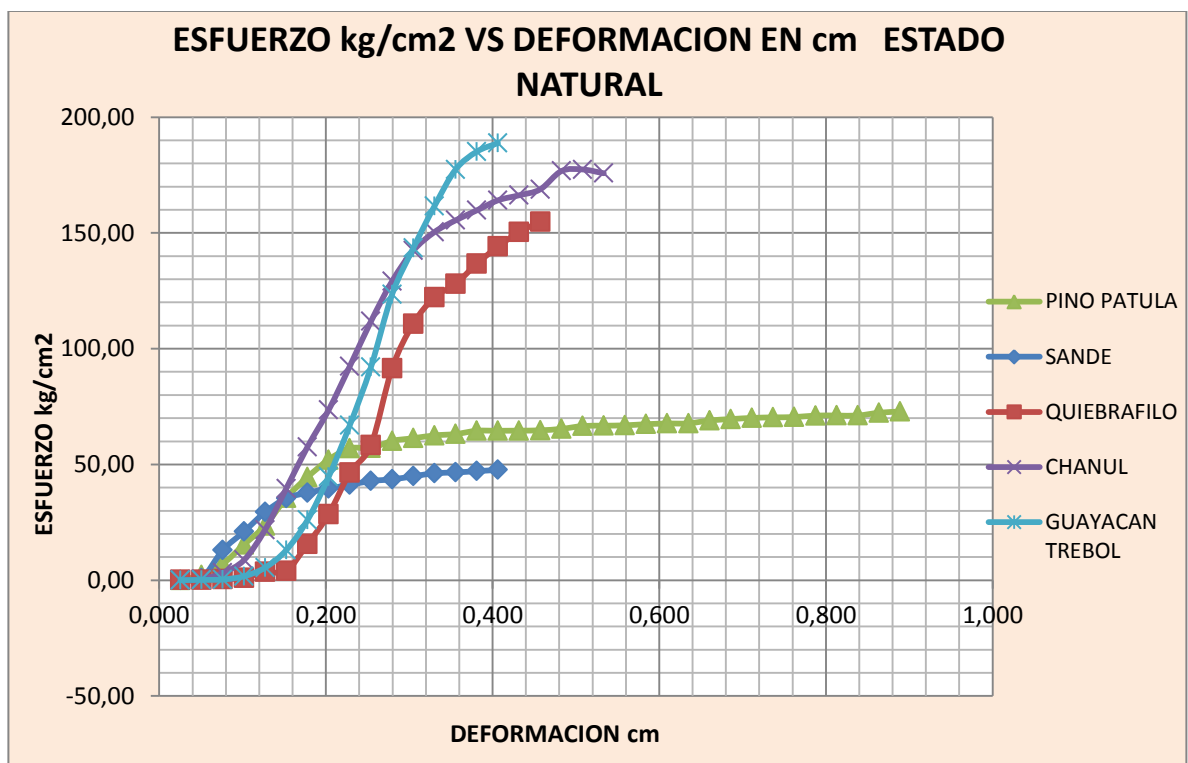
La variación de resistencia depende de las características y propiedades de cada tipo de madera, por lo cual se puede deducir que maderas como el Quebra Filo, Chanul y Guayacán Trébol poseen resistencias muy altas aproximadamente el 50% más resistentes que las maderas de Pino Pátula y Sande, por lo tanto, son maderas más aptas para ser utilizadas como elementos estructurales.

Los valores que se obtienen de resistencia a la compresión perpendicular son de 10 a 30 veces menores que los resultados obtenidos a compresión paralela. Ver detalles de resistencia a la compresión perpendicular (anexo C)

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras
Comparación de los 5 tipos de madera en estado natural.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR A LAS FIBRAS ESTADO NATURAL DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm ²	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm ²	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm ³)
PINO PATULA	117,24	11,79	83,64	11,62	0,52
SANDE	70,83	11,88	53,36	10,45	0,46
QUIEBRA FILO	182,81	23,06	167,78	19,02	0,67
CHANUL	192,16	15,83	179,21	11,68	0,68
GUAYACAN TREBOL	193,13	28,74	187,45	17,88	0,86

Tabla 28. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la compresión perpendicular estado natural.

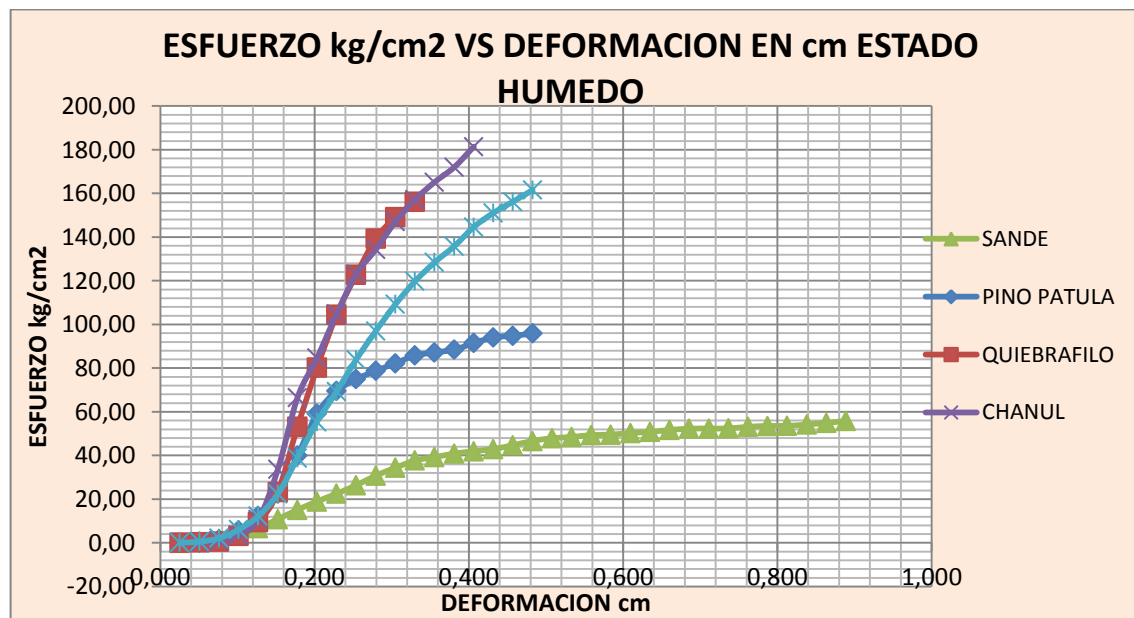


Gráfica 8. Resistencia a la compresión perpendicular de las 5 especies de maderas en estado natural.

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras: Comparación de los 5 tipos de madera en estado húmedo.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR EN ESTADO HUMEDO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm3)
PINO PATULA	78,66	25,23	72,22	23,52	0,52
SANDE	56,66	31,29	47,66	24,67	0,46
QUIEBRA FILO	158,95	56,76	149,54	53,54	0,67
CHANUL	184,1	18,03	178,54	15,36	0,68
GUAYACAN TREBOL	189,54	53,12	178,75	27,45	0,86

Tabla29. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la compresión perpendicular en estado húmedo.



Grafica 9. Resistencia a la compresión perpendicular de las 5 especies de maderas en estado húmedo.

4.4 RESISTENCIA A LA CIZALLADURA

Pino Patula. La gráfica que se realiza para este ensayo es directamente proporcional a medida que se suministra carga experimenta una mayor deformación hasta el punto de rotura.

Es un tipo de madera que resiste pequeños incrementos de carga, la probeta en estado seco falla en el eje central pero con un contenido de humedad más alto la falla se presenta en una de las aletas.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la cizalladura de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZO ULTIMO DE RESISTENCIA A LA CIZALLADURA SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD PINO PATULA						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	σ (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	c.h (%)
1	70	48,18	86	18,89	105	2,14
2	99	50,81	108	19,21	116	2,05
3	62	46,13	120	18,54	136	0,82
4	71	43,34	106	19,69	124	1,36
5	92	42,15	70	20,34	128	1,1
6	89	68,91	104	20,1	135	1
7	89	48,6	98	20,28	112	2,01
8	100	56,74	77	17,09	104	2,36
9	77	66,61	85	20,1	135	0,36
10	74	64,1	81	19,76	114	2,15
PROMEDIO	82,3	53,56	93,5	19,39	120,9	1,53

Tabla 30. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la cizalladura según el contenido de humedad pino Patula.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 128,25 kg/cm², menor = 36,25 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 146,25 kg/cm², menor = 40,25 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 172,13 kg/cm², menor = 73,13 kg/cm²)

Sande: Es un tipo de madera muy blanda, por lo cual no ofrece mayor resistencia al corte y por consecuencia las cargas soportadas por la pieza de madera son bajas.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la cizalladura de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA CIZALLADURA SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD SANDE						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	σ (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	c.h (%)
1	63	39,6	75	39,72	81	19,12
2	69	46,67	74	39,98	73	15,72
3	72	41,62	72	9,09	92	15,12
4	70	39,42	71	39,14	111	13,55
5	67	44,88	83	37,84	101	15,19
6	71	35,89	62	42,48	124	8,44
7	65	36,07	70	34,56	100	15,3
8	71	39,92	73	29,8	117	12,16
9	65	40,46	68	35,1	96	10,96
10	70	33,74	75	36,28	117	9,19
PROMEDIO	68,3	39,82	72,3	34,4	101,2	13,47

Tabla 31. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la cizalladura según el contenido de humedad Sande.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 80 Kg/cm², menor = 56 Kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 83,25 kg/cm², menor = 61,25 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 158,63 kg/cm², menor = 47,63 kg/cm²)

Quiebrafilo. Es un tipo de madera muy resistente al corte, es capaz de soportar altos incrementos de carga sin importar el contenido de humedad. Las fibras de la madera se encuentran muy bien entrelazadas permitiendo tolerar altas aplicaciones de carga hasta lograr fallar la pieza de madera o hasta el límite admitido por el equipo.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la cizalladura de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA CIZALLADURA SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD QUIEBRA FILO						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	σ (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	c.h (%)
1	160	53,12	107	19,24	164	3,48
2	102	22,98	118	28,74	119	0,69
3	91	24,88	155	16,2	155	0,82
4	106	24,15	100	15,17	162	1,2
5	106	26,49	106	15,63	160	1,43
6	114	22,82	110	16,21	155	1,13
7	126	22,98	124	16,73	127	1,22
8	131	22,3	136	18,09	140	1,34
9	102	29,26	117	17,02	112	1,78
10	113	27,18	136	15,73	160	0,66
PROMEDIO	115,1	27,62	120,9	17,88	145,4	1,38

Tabla 32. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la cizalladura según el contenido de humedad Quebra Filo.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil nos da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 165,13 kg/cm², menor = 64,13 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 179,98 kg/cm², menor = 62,88 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 213,75 kg/cm², menor = 71,75 kg/cm²)

Chanul: Es una de las maderas más resistentes al ensayo de cizalladura debido a las características que posee dicha madera, por lo tanto, la cantidad de carga soportada por la pieza de madera es muy alta.

Las fallas de las mayoría de las probetas se presentaron en las dos aletas y en algunas pocas se presentó en el eje central.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la cizalladura de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA CIZALLADURA SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD CHANUL						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	σ (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	c.h (%)
1	141	24,23	172	25,73	179	12,4
2	173	24,9	162	24,23	142	10,2
3	147	35,22	134	29,84	188	8,16
4	146	30,6	183	32,2	191	7,63
5	110	30,58	174	29,71	174	10,5
6	139	28,69	177	39,2	199	7,06
7	164	26,64	157	11,91	163	13,26
8	128	26,06	154	17,54	118	12,51
9	174	29,4	141	26,77	185	10,29
10	157	29,46	159	23,77	199	7,64
PROMEDIO	147,9	28,58	161,3	26,09	173,8	9,97

Tabla 33. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la cizalladura según el contenido de humedad Chanul.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil nos da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 211,25 kg/cm², menor = 91,25 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 119,75 kg/cm², menor = 114,75 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 245,78 kg/cm², menor = 104,88 kg/cm²)

Guayacán Trébol. Es el tipo de madera más resistente al ensayo de cizalladura dentro de las maderas estudiadas en esta investigación, por lo cual, es capaz de resistir altos incrementos de carga sin presentar en algunas probetas fallas o llegar al punto de rotura debido a que el equipo alcanzaba el límite admisible.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la resistencia a la cizalladura de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA CIZALLADURA SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD GUAYACAN TREBOL						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	σ (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	c.h (%)	σ (kg/cm ²)	c.h (%)
1	173	13,6	161	14,22	159	3,48
2	145	14,73	176	13,91	191	0,69
3	173	12,01	160	20,09	151	0,82
4	169	10,81	171	7,97	151	1,2
5	158	14,01	198	7,32	130	1,43
6	169	14,34	156	9,78	185	1,13
7	*193	12	167	9	178	1,22
8	171	11,83	*126	8,11	185	1,34
9	165	15,05	125	9,17	185	1,78
10	*185	13,16	178	8,45	142	0,66
PROMEDIO	165,37	13,29	165,77	11.10	165,7	1,38

Tabla 34. Comparación de esfuerzos últimos de resistencia a la cizalladura según el contenido de humedad Guayacán Trébol.

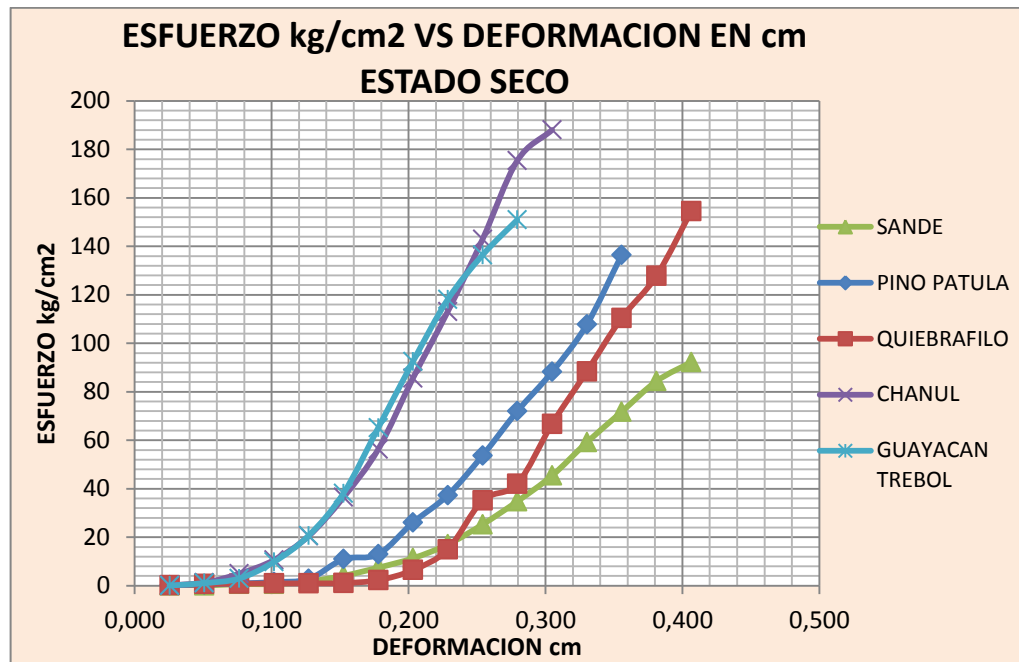
El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 184,13 kg/cm², menor = 144,13 kg/cm²)
- estado natural : (mayor = 218,5 kg/cm², menor = 126,5 kg/cm²)
- estado seco : (mayor = 239,38 kg/cm², menor = 94,38 kg/cm²)

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la cizalladura: Comparación de los 5 tipos de madera en estado seco.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA RESISTENCIA A LA CIZALLADURA EN ESTADO SECO					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO RESISTENCIA A LA CIZALLADURA kg/cm ²	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO RESISTENCIA A LA CIZALLADURA kg/cm ²	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm ³)
PINO PATULA	136	0,82	120,9	1,53	0,52
SANDE	124	8,44	101,2	13,47	0,46
QUIEBRA FILO	164	3,48	145,4	1,38	0,67
CHANUL	199	7,06	173,8	9,97	0,68
GUAYACAN TREBOL	191	0,69	165,7	1,38	0,86

Tabla 35. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la cizalladura en estado seco.



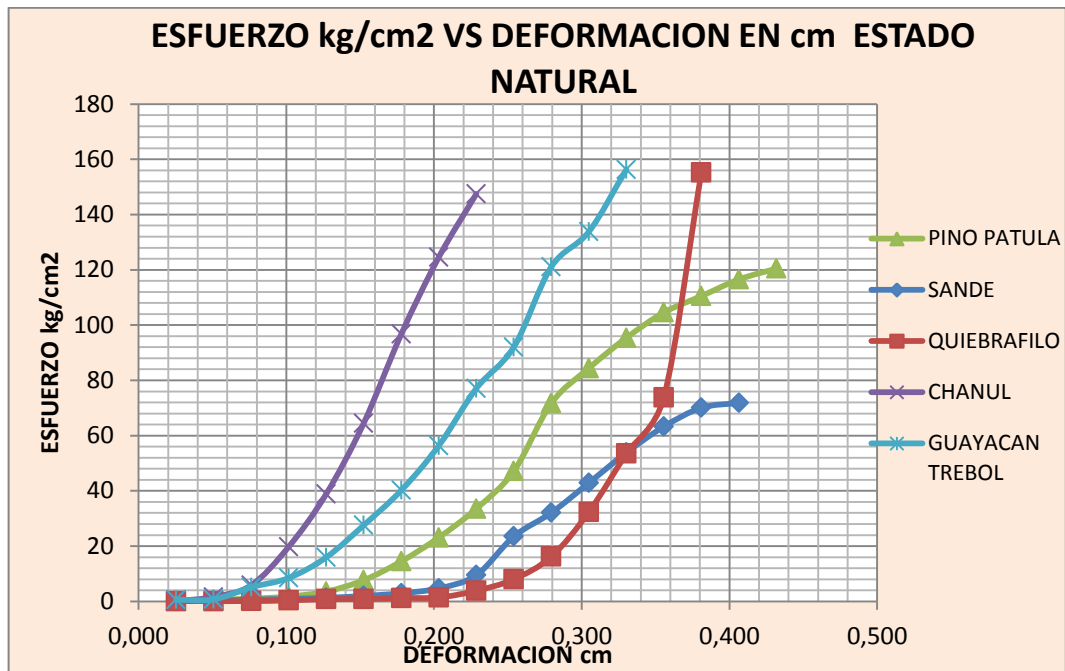
Grafica 10. Resistencia a la cizalladura de las 5 especies de maderas en estado seco.

Según los resultado de la tabla 35 y la gráfica N°10, podemos concluir que maderas tales como Queiebrafilo, Chanul y Guayacán Trébol son óptimas para ser utilizadas como elementos estructurales y soportar esfuerzos cortantes. Ver detalles de resistencia a la cizalladura (anexo D).

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la cizalladura Comparación de los 5 tipos de madera en estado natural.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA RESISTENCIA A LA CIZALLADURA ESTADO NATURAL DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO RESISTENCIA A LA CIZALLADURA kg/cm2	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO RESISTENCIA A LA CIZALLADURA kg/cm2	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm3)
PINO PATULA	120	20,34	93,5	19,39	0,52
SANDE	75	39,14	72,3	34,4	0,46
QUIEBRA FILO	155	28,74	120,9	17,88	0,67
CHANUL	159	29,84	161,3	26,09	0,68
GUAYACAN TREBOL	178	20,09	165,77	1,38	0,86

Tabla 36. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la cizalladura en estado natural.

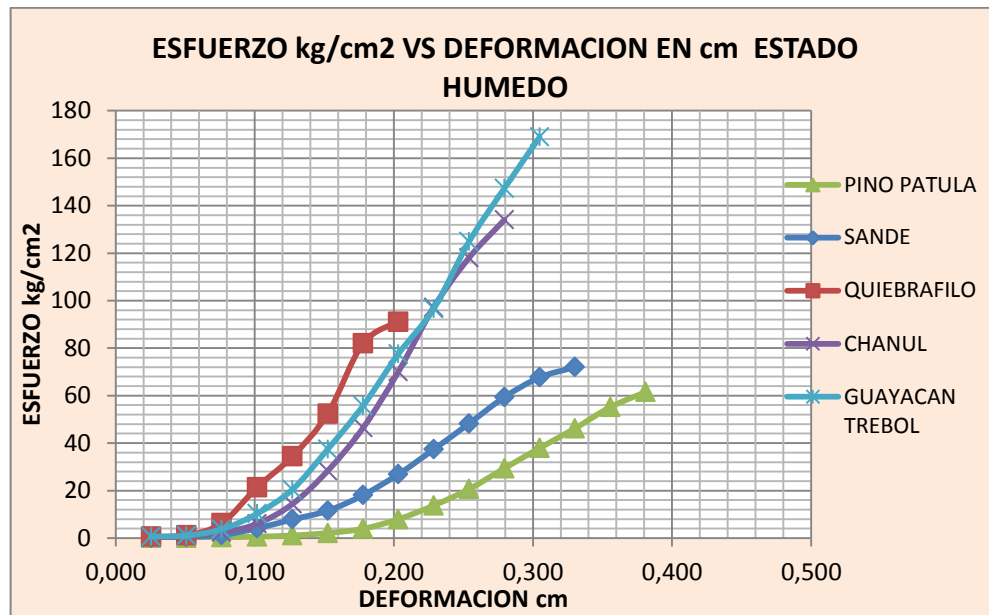


Grafica 11. Resistencia a la cizalladura de las 5 especies de maderas en estado natural.

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la cizalladura en: Comparación de los 5 tipos de madera en estado húmedo.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA RESISTENCIA A LA CIZALLADURA EN ESTADO HUMEDO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO RESISTENCIA A LA CIZALLADURA kg/cm2	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO RESISTENCIA A LA CIZALLADURA kg/cm2	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm3)
PINO PATULA	100	68,91	82,3	53,56	0,52
SANDE	72	46,67	68,3	39,82	0,46
QUIEBRA FILO	131	29,26	115,1	27,62	0,67
CHANUL	174	30,58	147,9	28,58	0,68
GUAYACAN TREBOL	185	14,73	165,37	13,29	0,86

Tabla 37. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de la resistencia a la cizalladura en estado húmedo.



Grafica 12. Resistencia a la cizalladura de las 5 especies de maderas En estado húmedo.

4.4.1 Dureza Brinell:

Pino Pátula. Es un tipo de madera con una densidad muy baja, por lo cual se encuentra clasificada dentro de las maderas del grupo C, esto se debe al entretrejido de sus fibras que hacen que sea una madera porosa y existan mucha cantidad de vacíos en su estructura. El promedio del esfuerzo último obtenido de la dureza de Brinell de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE DUREZA BRINELL SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD PINO PATULA						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	HB (N/mm2)	C.H (%)	HB (N/mm2)	C.H (%)	HB (N/mm2)	C.H (%)
1	9,23	17,39	10,03	18,71	10,71	1,53
2	7,27	24,51	12,7	18,37	13,98	1,55
3	6,53	24,42	9,41	18,58	16,16	2,05
4	8,27	24,86	12,04	18,56	10,32	1,63
5	11,02	24,85	8,26	18,27	14,93	1,65
6	10,77	24,85	11,5	19,58	10,12	1,65
7	6,47	24,86	12,5	19,28	11,65	1,63
8	6,69	24,42	10,06	17,8	9,94	1,56
9	8,71	24,51	8,52	18,63	15,09	1,55
10	7,65	17,74	9,37	18,26	15,74	1,53
PROMEDIO	8,26	23,24	10,44	18,60	12,86	1,63

Tabla 38. Comparación de esfuerzos últimos de la dureza Brinell según el contenido de humedad Pino Patula.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 14,06 N/mm², menor = 2,20 N/mm²)
- estado natural : (mayor = 16,66 N/mm², menor = 4,66 N/mm²)
- estado seco : (mayor = 22,73 N/mm², menor = 2,86 N/mm²)

Sande: Es una clase de madera muy blanda, con una alta porosidad en sus fibras internas, por lo tanto la dureza de Brinell es muy baja.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la dureza de Brinell de este tipo de madera es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE DUREZA BRINELL SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD SANDE						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	HB (N/mm ²)	C.H (%)	HB (N/mm ²)	C.H (%)	HB (N/mm ²)	C.H (%)
1	8,26	19,14	8,64	12,64	7,28	1,13
2	8,93	18,7	6,49	12,55	8,59	1,25
3	5,88	23,69	5,19	14,93	9,62	1,13
4	4,25	24,02	7,18	13,45	9,62	1,35
5	10,02	19,44	6,36	12,16	5,16	1,16
6	5,41	19,44	6,65	13,34	6,69	1,16
7	5,97	24,02	3,56	11,6	8,43	1,35
8	6,53	23,69	5,87	11,9	8,52	1,13
9	5,16	18,7	5,28	12,79	9,93	1,25
10	9,04	19,14	7,37	14,44	11,3	1,13
PROMEDIO	6,94	20,99	6,26	12,98	8,51	1,20

Tabla 39. Comparación de esfuerzos últimos de la dureza Brinell según el contenido de humedad Sande.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 14,37 N/mm², menor = 0,067 N/mm²)
- estado natural : (mayor = 10,18 N/mm², menor = 2,30 N/mm²)
- estado seco : (mayor = 13,55 N/mm², menor = 3,28 N/mm²)

Quiebrafilo. Es un tipo de madera que por su estructura interna, es clasificada como una madera semidura; además por su densidad se encuentra dentro del grupo estructural B y por lo tanto los valores de carga soportados no son muy elevados.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la dureza de Brinell de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE DUREZA DE BRINELL SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD QUIEBRA FILO						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	HB (N/mm2)	C.H (%)	HB (N/mm2)	C.H (%)	HB (N/mm2)	C.H (%)
1	18,45	42,05	21,25	21,1	28,06	3,88
2	22,34	33,26	20,26	22,01	48,75	3,88
3	21,25	39,39	21,06	26,2	27,22	3,71
4	22,87	30,92	23,19	25,63	29,31	3,71
5	25,16	30,94	19,48	29,16	27,09	3,73
6	20,17	30,45	18,29	29,16	30,44	3,73
7	17,26	29,56	27,92	22,18	24	0,23
8	17,96	18,59	16,36	22,18	21,14	13,47
9	16,98	31,26	17,83	22,92	23,05	0,18
10	17,29	43,25	23,47	22,92	28,17	0,18
PROMEDIO	19,97	32,97	20,91	24,35	28,75	3,67

Tabla 40. Comparación de esfuerzos últimos de la dureza Brinell según el contenido de humedad Quebra filo.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 30,26 N/mm2, menor = 9,49 N/mm2)
- estado natural : (mayor = 30,89 N/mm2, menor = 10,55 N/mm2)
- estado seco : (mayor = 38,34 N/mm2, menor = 15,01 N/mm2)

Chanul. Es una madera semidura, debido a que la estructura interna se encuentra formada por tejido fibroso bien entrelazado dejando como resultado una madera muy sólida y con un bajo contenido de porosidad; por lo tanto las cargas soportadas por la pieza de madera son altas.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la dureza de Brinell de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE DUREZA BRINELL SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD CHANUL						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	HB (N/mm2)	C.H (%)	HB (N/mm2)	C.H (%)	HB (N/mm2)	C.H (%)
1	26,26	20,27	25,91	16,53	25,11	1,21
2	29,24	21,28	21,67	18,04	58,58	1,05
3	19,37	21,23	21,03	17,87	39,84	0,92
4	23,4	21,26	25,84	17,36	49,86	6,73
5	20,75	20,63	24,04	17,2	50,5	5,85
6	15,63	20,27	22,73	16,53	44,12	0,72
7	23,12	21,28	20,54	18,04	43,15	0,23
8	24,3	21,23	22,52	17,87	47,22	0,92
9	25,15	21,26	27,54	17,36	48,4	0,74
10	21,81	20,98	28,58	17,2	46,13	1,05
PROMEDIO	22,90	20,96	24,04	17,4	45,29	1,94

Tabla 41. Comparación de esfuerzos últimos de la dureza Brinell según el contenido de humedad Chanul.

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 32,96 N/mm², menor = 12,87 N/mm²)
- estado natural : (mayor = 33,53 N/mm², menor = 14,30 N/mm²)
- estado seco : (mayor = 61,57 N/mm², menor = 30,78 N/mm²)

Guayacán trébol. Es el tipo de madera más dura en el trabajo de investigación ya que dicho material es capaz soportar un gran incremento de carga para lograr penetrar el balín; esto se debe al tejido interno de la estructura de la madera y a baja porosidad.

El promedio del esfuerzo último obtenido de la dureza de Brinell de este tipo de madera, es:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE DUREZA BRINELL SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD GUAYACAN TREBOL						
Nº PROBETA	ESTADO HUMEDO		ESTADO NATURAL		ESTADO SECO	
	HB (N/mm2)	C.H (%)	HB (N/mm2)	C.H (%)	KG (N/mm2)	C.H (%)
1	21,32	36,39	27,57	24,78	16,9	3,48
2	22,55	29,95	31,14	24,2	13,26	3,48
3	25,56	25,14	29,84	14,5	50,62	0,74
4	30,51	21,34	34,36	15,09	55,64	1,05
5	27,43	21,57	25,93	16,93	39,84	0,92
6	28,25	23,49	29,98	15,71	42,63	6,73
7	26,55	25,16	26,2	16,31	41,75	1,63
8	25,27	25,16	26,2	16,31	47,76	1,33
9	23,51	25,14	24,93	15,71	51,12	0,92
10	*12,73	*23,49	25,35	16,94	52,39	0,74
PROMEDIO	25,66	25,93	28,15	17,65	41,19	2,01

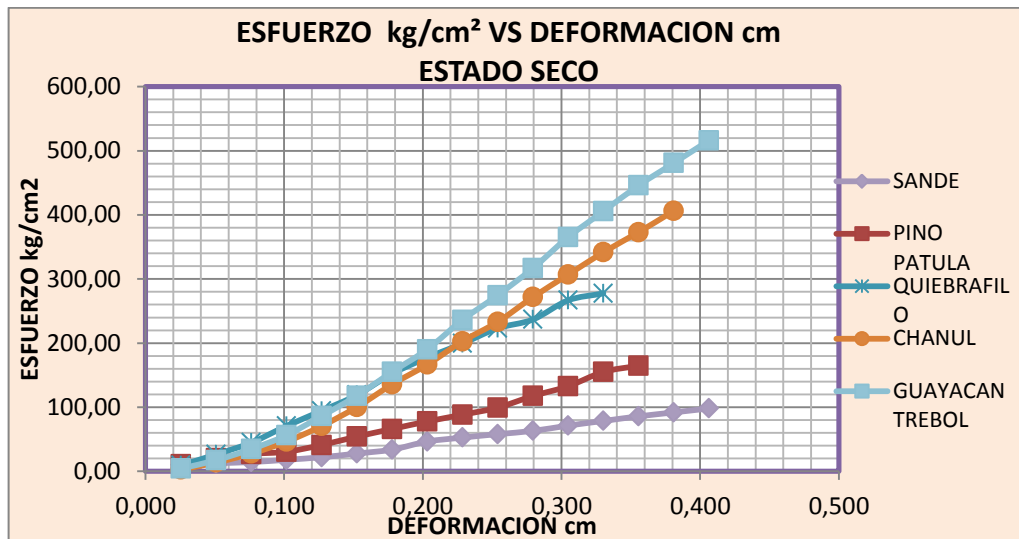
Tabla 42. Comparación de esfuerzos últimos de la dureza Brinell según el contenido de humedad Guayacán Trébol.

* En la tabla 42, muestra valores que no son tenidos en cuenta en la realización del promedio y en el análisis de varianza, debido al análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes rangos de aceptación descartando los números atípicos.

- estado húmedo : (mayor = 35,72 N/mm², menor = 14,15 N/mm²)
- estado natural : (mayor = 36,99 N/mm², menor = 14,05 N/mm²)
- estado seco : (mayor = 77,44 N/mm², menor = 8,11 N/mm²)

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE DUREZA BRINELL EN ESTADO SECO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO DUREZA BRINELL N/mm2	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO DUREZA BRINELL N/mm2	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm3)
PINO PATULA	15,74	1,53	12,86	1,63	0,52
SANDE	9,93	1,25	8,51	1,20	0,46
QUIEBRA FILO	30,44	3,73	28,75	3,67	0,67
CHANUL	50,5	5,85	45,29	1,94	0,68
GUAYACAN TREBOL	55,64	1,05	41,19	2,01	0,86

Tabla 43. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera de dureza Brinell en estado seco.



Grafica 13. Dureza Brinell de las 5 especies de maderas en estado seco.

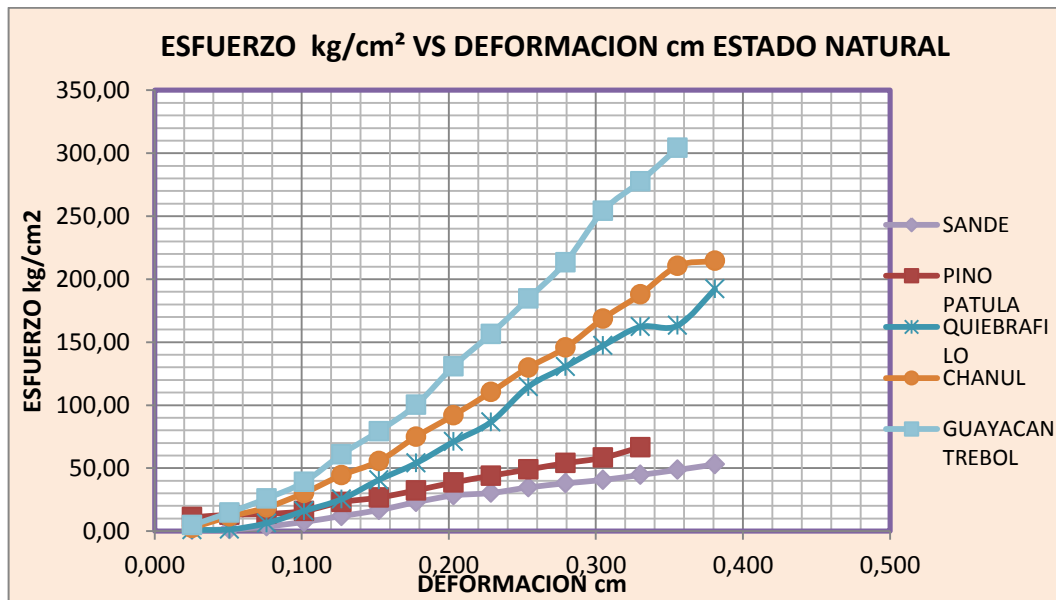
Según la tabla 43 y la gráfica 13, los tipos de madera más óptimos para soportar resistencias a las deformaciones plásticas localizadas (dureza Brinell) son maderas como Quiebrafilo, Chanul y Guayacán Trébol debido a que en su estructura interna las fibras se encuentran en diferentes direcciones lo cual permite que haya un mayor agarre y soporte de cargas.

La madera para realizar trabajos como ensambles de elementos estructurales es utilizada en estado verde, debido a que la madera se encuentra blanda y no requiere de una gran concentración de esfuerzos para instalar clavos, pernos con el fin de unir dichos elementos. Ver detalles dureza de Brinell (anexo E)

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la Dureza Brinell Comparación de los 5 tipos de madera en estado natural.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA DUREZA BRINELL ESTADO NATURAL DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO DUREZA BRINELL N/mm2	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO DUREZA BRINELL N/mm2	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm3)
PINO PATULA	12,5	24,85	8,26	23,24	0,52
SANDE	10,02	24,02	6,94	20,99	0,46
QUIEBRA FILO	27,92	29,16	20,91	24,35	0,67
CHANUL	28,58	18,04	24,04	17,4	0,68
GUAYACAN TREBOL	29,98	24,78	28,15	17,65	0,86

Tabla 44. Comparación de esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera a la dureza Brinell en estado natural.

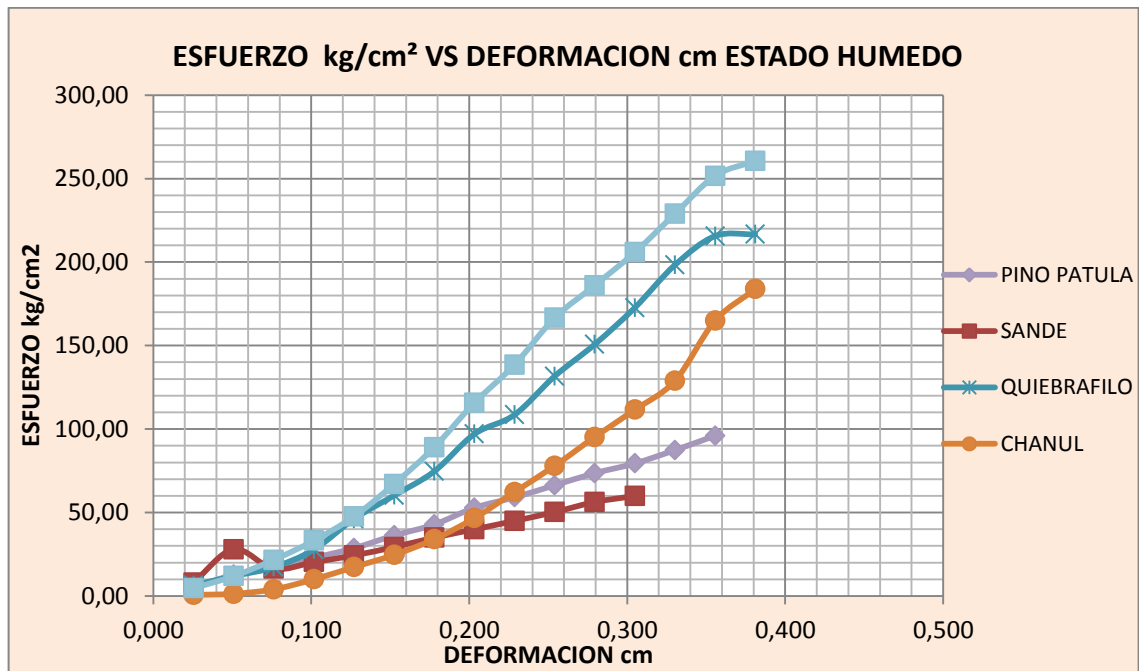


Grafica 14. Resistencia a la dureza Brinell de las 5 especies de maderas en estado natural.

Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera en el ensayo de la resistencia a la Dureza Brinell: Comparación de los 5 tipos de madera en estado húmedo.

COMPARACIONES DE ESFUERZOS ULTIMOS DE LA DUREZA BRINELL EN ESTADO HUMEDO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MADERA					
TIPO DE MADERA	VALOR MAXIMO DUREZA BRINELL N/mm2	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PROMEDIO DUREZA BRINELL N/mm2	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD %	DENSIDAD (gr/cm3)
PINO PATULA	11.02	24.86	8.26	23.24	0,52
SANDE	10.02	24.02	6.94	20.99	0,46
QUIEBRA FILO	25.16	39.39	19.97	32.97	0,67
CHANUL	29.24	21.28	22.90	20.96	0,68
GUAYACAN TREBOL	28.25	29.95	25.66	25.93	0,86

Tabla 45. Comparaciones de los esfuerzos últimos de los diferentes tipos de madera a la Dureza Brinell en estado húmedo.

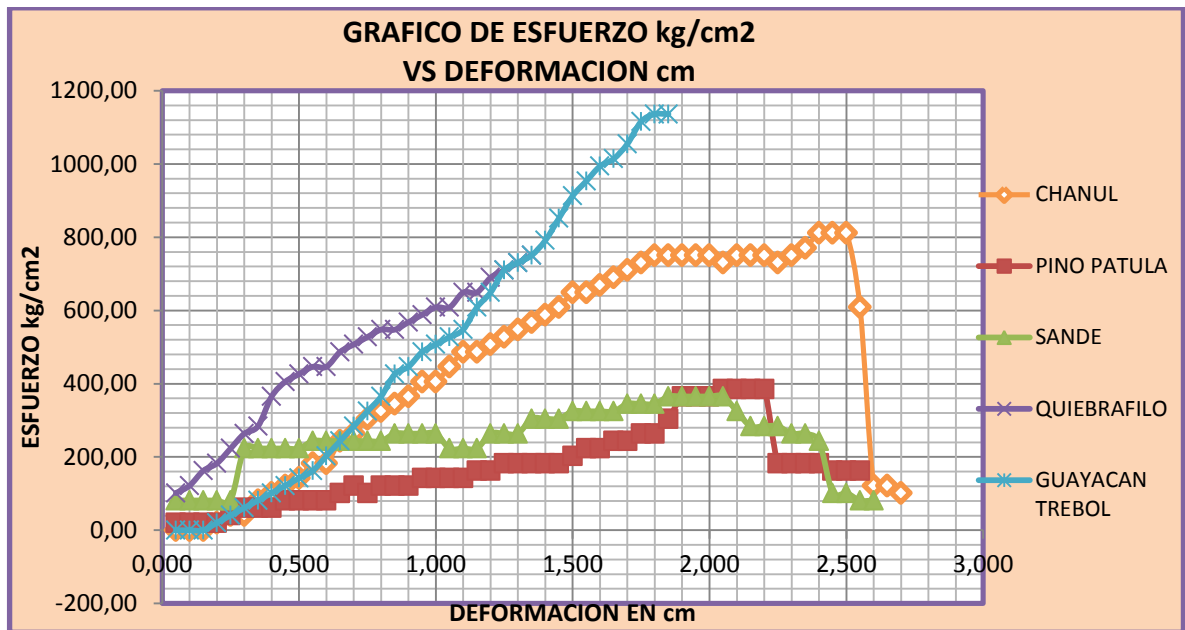


Grafica 15. Resistencia a la dureza Brinell de las 5 especies de maderas en estado natural.

4.4.2 Resistencia a la tracción paralela:

COMPARACION DE ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA A LA TRACCION PARALELA A LAS FIBRAS SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD										
Nº PROBETA	PINO PATULA		SANDE		QUIEBRA FILO		CHANUL		GUAYACAN TREBOL	
	σ (kg/cm ²)	C.H (%)	σ (kg/cm ²)	C.H (%)	σ (kg/cm ²)	C.H (%)	σ (kg/cm ²)	C.H (%)	σ (kg/cm ²)	C.H (%)
1	324,58	13,19	365,15	12,16	750,59	5,51	770,88	15,55	1176,60	12,15
2	162,29	18,21	365,15	12,18	568,02	14,26	831,74	13,52	1156,32	14,13
3	385,44	13,12	304,29	13,51	770,88	7,36	811,45	13,83	1136,03	14,25
4	324,58	14,02	101,43	16,69	811,45	5,53	811,45	13,08	1115,75	17,29
5	162,29	15	263,722	15,51	608,59	14,53	892,60	13,07	1014,31	15,17
6	243,44	14,82	365,15	12,61	689,73	14,22	872,31	12,83	1217,18	12,14
7	101,43	15,16	263,72	14,98	669,45	14,59	892,60	12,28	1156,32	14,36
8	202,86	15,09	243,44	14,6	770,88	7,31	852,02	13,24	1136,03	15,18
9	101,43	16,05	162,29	14,33	689,73	11,79	811,45	13,76	1156,32	13,29
10	101,43	16,22	243,44	15,27	770,88	8,15	852,02	13,13	1196,89	12,14
PROMEDIO	210,98	15,09	267,78	14,18	710,02	10,33	839,85	13,43	1146,18	14,01

Tabla 46. Comparación de la resistencia a la tracción paralela a las fibras.



Grafica 16. Tracción paralela de las 5 especies de maderas en estado natural.

La gráfica 16, que se realiza a este tipo de ensayo es esfuerzo versus deformación donde muestra que para estos tipos de madera, el gráfico realizado es directamente proporcional a medida que se adiciona un incremento de carga esta experimenta una mayor deformación. De acuerdo a la tabla N°51 se puede concluir que las maderas más resistentes a este tipo de esfuerzos son Quiebrafilo, Chanul y Guayacán Trébol.

ESFUERZOS ADMISIBLES

La Tabla N° 47, contiene una comparación entre los valores de esfuerzo admisible recomendados por el manual de diseño de la Padt-Refort y los obtenidos por esta investigación.

El cálculo de los valores de los factores de reducción puede consultarse en el numeral 2.4.7 de la presente investigación. La tabla comparativa de los esfuerzos admisibles es la siguiente:

Rango de valores de DB (gr/cm ³)		0,40 a 0,55	0,56 a 0,70	0,71 a 0,90		
Grupo estructural correspondiente		C	B	A		
ESPECIE		PINO PÁTULA	SANDE	QUIEBRA FILO	CHANUL	GUAYACÁN TREBOL
DENSIDAD BÁSICA		0,54	0,41	0,629	0,685	0,871
GRUPO ESTRUCTURAL SEGÚN CLASIFICACIÓN DE PADT-REFORT		C	C	B	B	A
ESFUERZO ADMISIBLE EN FLEXIÓN ESTÁTICA (KG/CM ²)	PADT-REFORT	100	100	150	150	210
	INVESTIGACIÓN	97,17	152,17	232,56	314,70	246,27
ESFUERZO ADMISIBLE EN COMPRESIÓN PARALELA (KG/CM ²)	PADT-REFORT	80	80	110	110	145
	INVESTIGACIÓN	68,28	81,78	157,10	135,78	139,28
ESFUERZO ADMISIBLE EN COMPRESIÓN PERPENDICULAR (KG/CM ²)	PADT-REFORT	15	15	28	28	40
	INVESTIGACIÓN	22,01	13,36	56,60	59,25	74,7
ESFUERZO ADMISIBLE EN CIZALLAMIENTO (KG/CM ²)	PADT-REFORT	8	8	12	12	15
	INVESTIGACIÓN	14,6494	12,16	20,49	26,33	29,44
ESFUERZO ADMISIBLE EN TRACCIÓN PARALELA (KG/CM ²)	PADT-REFORT	75	75	105	105	145
	INVESTIGACIÓN	101,43	101,43	568,02	770,88	1014,31

Tabla 47. Comparación de resultados de resistencia de los ensayos obtenidos en la investigación con valores admisibles de resistencia para los grupos estructurales según la clasificación de PADT-REFORT.

La Tabla N° 48, contiene una comparación entre los valores de esfuerzo admisible recomendados por la NSR-10 y los obtenidos por esta investigación. Es importante anotar que para obtener los valores de esfuerzo admisible con los datos de la investigación, se siguieron los mismos criterios que utiliza la NSR-10 para obtener los suyos. (Ver numeral 2.4.8).

ESPECIE		PINO PÁTULA	SANDE	QUIEBRA FILO	CHANUL	GUAYACÁN TREBOL
MOE		96.680,10	99.956,00	130.971,40	150.294,10	188.090,40
GRUPO ESTRUCTURAL SEGÚN CLASIFICACIÓN DE NSR-10		S6	S6	S4	S3	S1
ESFUERZO ADMISIBLE EN FLEXIÓN ESTÁTICA (KG/CM2)	NSR-10	125	125	170	230	295
	INVESTIGACIÓN	56,55	94,92	125,63	172,35	160,57
ESFUERZO ADMISIBLE EN COMPRESIÓN PARALELA (KG/CM2)	NSR-10	100	100	150	190	230
	INVESTIGACIÓN	72,67	96,01	121,95	121,90	123,54
ESFUERZO ADMISIBLE EN COMPRESIÓN PERPENDICULAR (KG/CM2)	NSR-10	15	15	28	38	60
	INVESTIGACIÓN	33,93	20,16	72,89	66,28	93,46
ESFUERZO ADMISIBLE EN CIZALLAMIENTO (KG/CM2)	NSR-10	13	13	15	16	20
	INVESTIGACIÓN	15,46	11,92	20,02	26,76	27,50
ESFUERZO ADMISIBLE EN TRACCIÓN PARALELA (KG/CM2)	NSR-10	90	90	120	170	210
	INVESTIGACIÓN	28,26	35,89	95,33	112,78	153,95

Tabla 48. Comparación de resultados de resistencia de los ensayos obtenidos en la investigación con valores admisibles de resistencia para los grupos estructurales según la clasificación de la NSR-10.

5. CONCLUSIONES

Las cinco especies estudiadas en esta investigación pueden ser usadas con fines estructurales. Con base en el criterio de clasificación de La Padt-Refort las especies Pino Patula y Sande se deben clasificar en el grupo estructural C; las especies Quiebra filo y Chanul en el B y la especie Guayacán Trébol en el grupo estructural A.

Con este trabajo investigativo se pudo corroborar que existe una correlación muy alta entre las propiedades mecánicas y la densidad del material, puesto que a mayores valores de la densidad básica corresponden mayores capacidades de resistencia mecánica, en las diferentes cargas proporcionadas y en los diferentes planos de corte.

Según la tabla nº 47, se tiene:

El Pino Pátula presenta resultados cercanos a los que podría esperarse según el manual de la Padt-Refort. Su resistencia es menor que la del grupo C según la flexión estática y compresión paralela; sin embargo se puede apreciar que la resistencia es mayor en la compresión perpendicular, en la resistencia al corte y en tracción paralela. Logrando una diferencia más significativa a la tracción paralela, obteniendo un porcentaje del 35% el cual es mayor que al del grupo C.

El Sande presenta una resistencia a la flexión estática un 52% mayor a la recomendada para el grupo C; un 2,2% mayor en compresión paralela; un 10,91% mayor en resistencia a la compresión perpendicular y un 34,20% mayor en la resistencia al corte.

Indica las comparaciones de los valores admisibles de resistencia según el PADT REFORT y los valores obtenidos de esta investigación, por lo cual se puede concluir que Pino Patula, Sande y Guayacán Trébol son maderas que se encuentran correctamente clasificadas dentro de los dos grupos estructurales C y A respectivamente, debido a las densidades y a los valores admisibles de resistencia, pero no sucede lo mismo con Quiebrafilo y Chanul que son especies clasificadas en el grupo B, pero los resultados de resistencia obtenidos muestran que estas dos especies maderables alcanzan valores muy altos de resistencia a los diferentes ensayos, razón por la cual deberían clasificarse dentro del grupo A.

El Guayacán Trébol es claramente una especie del grupo estructural A, tanto por su densidad básica como por el resultado de los esfuerzos admisibles, los cuales son mayores a los indicados para su grupo.

Según la tabla N° 48 se tiene:

De acuerdo con el análisis comparativo de la tabla N° 48 se puede decir que en el ensayo de resistencia a la flexión las maderas tales como, Pino Patula, Chanul y Guayacan Trébol se encuentra por debajo de los establecidos por la NSR-10; pero el esfuerzo de la especie conocida como Sande es mayor al valor de la NSR-10 y el esfuerzo admisible del Quiebrafilo coinciden con los estipulados por la norma.

Los valores de resistencia a la compresión paralela indican que en las maderas Pino Patula, sande y Quiebrafilo son mayores que los constituidos por la norma NSR-10 y menores en las maderas Chanul y Guayacán Trébol.

Los resultados obtenidos de la investigación del ensayo de resistencia al corte superan a los establecidos por la norma NSR-10; situación contraria se ve reflejado en el ensayo de tracción paralela, donde todos los esfuerzos obtenidos de la investigación se encuentran por debajo de los esfuerzos admisibles suministrados por la NSR-10, excepto con la madera Quiebrafilo coinciden los esfuerzos admisibles.

El Pino Pátula es una madera flexible lo que se comprueba al aplicar pequeños incrementos de carga que generan deformaciones adicionales muy altas, que a simple vista se pueden observar, situación que no ocurre con maderas densas. Estéticamente nos presenta muchas ventajas porque posee un buen color, olor y facilidad de manipulación para los trabajos ebanistería; además tiene una resistencia aceptable para ser utilizada en el campo constructivo, en trabajos que no impliquen grandes esfuerzos y deformaciones.

El Sande es una madera de muy fácil acceso por su economía y su gran oferta en el mercado; pero de las maderas estudiadas en este trabajo es una de las de menor resistencia, por lo que puede ser utilizada en la construcción en trabajos livianos.

La madera conocida como Quiebrafilo es una madera que presenta una buena resistencia mecánica. Su desventaja es su mal olor, su baja comercialización y el desconocimiento sobre ella en el campo científico.

Una de las ventajas que presenta el Chanul es que alcanza valores altos de resistencia clasificándola en el segundo lugar dentro de las investigadas en este trabajo de grado; además, es de muy fácil acceso en términos económicos y de buena demanda en el mercado.

El Guayacán Trébol como el material maderable más resistente de todos los estudiados en este trabajo; este tipo de madera puede ser utilizado como elemento estructural de alta resistencia.

Con esta investigación se permitió demostrar que la madera que presenta mayor resistencia a lo largo del desarrollo del trabajo fue la madera de Guayacán trébol y la que presenta menos resistencia es la madera Pino Patula.

6. RECOMENDACIONES

Mejorar el conocimiento de la madera regional como elemento de construcción de estructuras de buena resistencia mecánica. Los ingenieros estructuralistas sabrán apreciar el avance que se ha logrado en ese conocimiento y utilizar los esfuerzos admisibles encontrados en esta investigación con confianza, y recomendar su utilización a todo el gremio de la construcción.

Adelantar investigaciones adicionales sobre la especie Quiebrafilo, que es poco conocida en el medio y de la cual no se tienen referencias seguras en la literatura que se pudo consultar, ni entre las personas vinculadas a la explotación y al comercio de la madera. Esta especie presenta muy buenas características mecánicas y sus desventajas son fácilmente superables.

Promover investigaciones adicionales sobre las especies Chanul y Quiebrafilo, con el fin de superar las dudas que en cuanto a su clasificación se puede tener en el momento.

Abordar el estudio de una sola especie en particular, para que se pueda profundizar más en su conocimiento y se puedan aplicar técnicas estadísticas que mejoren la confianza en los resultados.

Abordar el estudio de una sola especie en particular, además se requiere que dicha especie se estudiada en diferentes laboratorios para que se pueda profundizar más en su conocimiento y se puedan realizar comparaciones entre los diferentes resultados logrando una conclusión óptima en resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CERÓN Almeida, Iván; BRAVO Villota, Oscar. AUDIOVISUALES SOBRE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN MADERAS Y METALES.

DUREZA BRINELL Y LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AMBIENTE, DE LA EDAD Y LA ALTURA A LO LARGO DEL TRAMO EN LA ESPECIE BAMBÚ. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 022-1701

ICONTEC. NORMA TECNICA COLOMBIANA (NTC 944). Determinación de la tracción paralela al grano.

_____. (NTC 663). Determinación de la resistencia a la flexión estática.

_____. (NTC 775). Determinación de la resistencia a la cizalladura paralela al grano.

_____. (NTC 784). Determinación de la resistencia a la compresión paralela al grano.

_____. (NTC 785). Determinación de la resistencia a la compresión perpendicular grano.

NORMAS DE LA SOCIEDAD AMERICANA DE ENSAYOS DE MATERIALES (ASTM)

PADT-REFORT, Junta del Acuerdo de Cartagena. MANUAL DE DISEÑO DE CONSTRUCCIONES EN MADERA.

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10-TITULO G: estructuras de madera y estructuras de guadua.

RONDÓN Vesga, Guillermo. DETERMINACIÓN DE DENSIDADES BÁSICAS PARA MADERAS DE LA REGIÓN NARIÑO-PUTUMAYO. Documento mecanografiado. Universidad de Nariño. Pasto.

YÉPEZ Villota, Heber Eduardo; ZURA Morillo, Luís Alberto. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ALGUNAS MADERAS UTILIZADAS EN LA CIUDAD DE PASTO. Trabajo de Grado, Facultad de Ingeniería. Universidad de Nariño. Pasto.