

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE CIPRÉS (CUPRESSUS), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)"

Trabajo de titulación modalidad trabajo experimental, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

ESTUDIANTE:

MARIO EDUARDO DELGADO LUCIO

TUTOR:

ING. MARITZA ELIZABETH UREÑA AGUIRRE, MG.

Ambato – Ecuador

Febrero / 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema: **"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE CIPRÉS (CUPRESSUS), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)"**, elaborado por el estudiante Mario Eduardo Delgado Lucio, portador de la cédula de ciudadanía número 1804328621, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en tu totalidad.

Ambato, febrero 2025

.....

Ing. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Mario Eduardo Delgado Lucio,** con C.I: 1804328621, declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE CIPRÉS (CUPRESSUS), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2025



.....

Mario Eduardo Delgado Lucio

C.I. 1804328621

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2025



.....

Delgado Lucio Mario Eduardo

C.I. 1804328621

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros de Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante **Mario Eduardo Delgado Lucio,** de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE CIPRÉS (CUPRESSUS), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)".**

Ambato, febrero 2025

Para constancia firman:

Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Con gratitud infinita y el corazón lleno de emoción, dedico este logro a quienes, de diferentes maneras, han sido mi pilar y mi inspiración a lo largo de este camino:

En primer lugar, a mi esposa, por su paciencia, amor incondicional y por ser mi mayor inspiración en los momentos más desafiantes. Asimismo, a mis hijos, quienes con su alegría y cariño me enseñan cada día el verdadero significado de la perseverancia y el esfuerzo.

Además, a mis padres, por su guía constante, apoyo inquebrantable y ejemplo de fortaleza en cada etapa de mi vida.

También, a mis amigos, por ser un refugio de motivación y fortaleza en los momentos más difíciles.

Finalmente, a todos aquellos que creyeron en mí, porque este logro también les pertenece.

Mario Eduardo Delgado Lucio

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la culminación de este importante logro en mi vida.

En primer lugar, agradezco a mi familia, cuya paciencia, amor y constante apoyo han sido la base de mi esfuerzo y dedicación. A mis hermanos, por su compañía, palabras de aliento y confianza en mí, incluso en los momentos más desafiantes.

A mis amigos, por ser una fuente constante de motivación y ánimo, y por creer en mi capacidad para alcanzar mis metas.

A la Universidad Técnica de Ambato que me brindó las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente y que me proporcionó el entorno ideal para el aprendizaje y la investigación.

De manera especial, agradezco a mi tutora de tesis, ing. Maritza Ureña, por su guía invaluable, paciencia y por compartir sus conocimientos con generosidad. Su apoyo fue fundamental para superar los desafíos de este proceso y alcanzar este objetivo.

A todos ustedes, mi gratitud eterna. Este logro también les pertenece.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE FIGURAS x
ÍNDICE DE TABLAS xii
RESUMEN EJECUTIVO xv
ABSTRACT xvi
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO 1
I. Antecedentes Investigativos 1
II. Justificación 3
III. Fundamentación Teórica 4
IV. Objetivos 13
A. Objetivo General 13
B. Objetivos Específicos 13
C. Hipótesis 13
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA 14
I. EQUIPOS Y MATERIALES 14
II. MÉTODOS 16
A. Fase 1: Elaboración de Catastro 16
B. Fase 2: Elaboración de probetas y determinación de propiedades físicas - mecánicas 18
1. Ensayo Contenido de Humedad 19
a) Procedimiento de Ensayo 19
2. Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra y Tracción paralela a la fibra: 22
a) Canteado 22
b) Corte 22
c) Cepillado 23
d) Cortado para probetas a Flexión perpendicular a la fibra según norma ASTM D143 – 94 23
e) Cortado para probetas a Tracción paralela a la fibra según norma ASTM D143 – 94 30

C. Fase 3: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de ciprés ...36
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN ...37
I. FASE 1 ...37
II. FASE 2 ...37
A. Propiedades Físicas ...37
1. Contenido de humedad verde ...37
2. Contenido de humedad seco ...39
B. Propiedades Mecánicas ...42
1. Flexión perpendicular a la fibra ...42
a) Ambato – Aserradero Cárcel ...42
b) Ambato – Aserradero Macasto ...46
c) Quero – Aserradero Quero ...49
2. Tracción paralela a la fibra ...57
a) Ambato – Aserradero Cárcel ...57
b) Ambato – Aserradero Macasto ...60
c) Quero – Aserradero Quero ...64
III. FASE 3 ...72
A. Análisis comparativo ...72
1. Flexión perpendicular a la fibra ...72
2. Tracción paralela a la fibra ...75
B. Verificación de la Hipótesis ...79
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ...80
I. CONCLUSIONES ...80
II. RECOMENDACIONES ...82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ...83
ANEXOS ...85
A. Anexo “A”: Catastro de los aserraderos con procesamiento de madera de ciprés ...85
B. Anexo “B”: Anexos fotográficos de la obtención y corte de la madera ...86
C. Anexo “C”: Gráficas ensayo a flexión y tracción – máquina universal ...93
D. Anexo “D”: Norma ASTM D143 – 94 ...95
E. Anexo “E”: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 896:2013 ...126
F. Anexo “F”: Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-MD- Estructuras de madera ...132
G. Anexo “G”: Cálculo típico de las propiedades mecánicas de la madera de ciprés ...137

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Contenido de humedad CHE en función de la humedad relativa y la temperatura 9
Fig. 2 Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra.....11
Fig. 3 Curva Esfuerzo – Deformación de la madera 11
Fig. 3 Ensayo de Tracción paralela a la fibra.....12
Fig. 4 Madera de ciprés – Aserradero ubicado en el cantón Quero 14
Fig. 5 Tronco de ciprés 15
Fig. 6 Máquina universal 16
Fig. 7 Catastro de aserraderos que cuentan con la madera de ciprés en la provincia de Tungurahua 17
Fig. 8 Recolección de coordenadas de los aserraderos.....17
Fig. 9 Color y nudos de la Madera de Ciprés 18
Fig. 10 Muestras de madera de los cantones Ambato y Quero 19
Fig. 11 Toma de peso húmedo de cada muestra.....19
Fig. 12 Muestras colocadas en el horno a temperatura 103 ± 5°C.....20
Fig. 13 Toma de peso seco o anhidro de cada muestra.....20
Fig. 14 Dimensiones en (mm) de las probetas destinadas a ensayo de Flexión perpendicular a la fibra.....21
Fig. 15 Dimensiones en (mm) de la cara frontal y lateral de las probetas destinadas a ensayo de Tracción paralela a la fibra.....21
Fig. 16 Canteado de los tablones de la madera de ciprés 22
Fig. 17 Corte de tablón en tiras con espesor de 3,0 cm de espesor 22
Fig. 18 Corte en tiras de 3,0 cm x 3,0 de ancho.....23
Fig. 19 Cepillado de tiras para espesor de 2,5 x 2,5 cm 23
Fig. 20 Corte en tiras de 41 cm x 2,50 cm x 2,50 cm para ensayo a Flexión perpendicular a la fibra.....24
Fig. 21 Máquina SHIMADZU AGS-X 50 kN para ensayo de flexión 25
Fig. 22 Colocación de apoyos para método secundario 25
Fig. 23 Datos del ensayo ingresados en máquina para ensayo a flexión.....26
Fig. 24 Colocación de probetas de madera en el centro de los apoyos 26
Fig. 25 Inicio del ensayo a flexión perpendicular a la fibra 27
Fig. 26 Probeta de madera de ciprés ensayada a flexión 27
Fig. 27 Tipos de fallas en flexión perpendicular a la fibra según norma ASTM 143 – 94.....28

Fig. 28 Dimensiones en (mm) de las probetas destinadas a ensayo de Tracción paralela a la fibra 30
Fig. 29 D Máquina SHIMADZU AGS-X 50 kN para ensayo de tracción 31
Fig. 30 Colocación de mordazas en máquina para ensayo de tracción 32
Fig. 31 Datos del ensayo ingresados en máquina para ensayo a tracción 32
Fig. 32 Colocación de probetas de madera en el centro de las mordazas.....33
Fig. 33 Probeta de madera de ciprés ensayada a tracción.....33
Fig. 34 Tipos de falla a tracción paralela a la fibra 34

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I NÚMERO DE PROBETAS A FLEXIÓN ESTÁTICA Y TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA POR CANTONES 15
TABLA II COORDENADAS DE LOS LUGARES DE PROCESAMIENTO DE LA MADERA DE CIPRÉS EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA 17
TABLA III ESPECIFICACIONES DE ENSAYO DE LA MADERA SEGÚN NORMA ASTM D 143 – 94 21
TABLA IV IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS PARA ENSAYO A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA 24
TABLA V FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA MADERA 30
TABLA VI IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA 31
TABLA VII FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA MADERA 35
TABLA VIII CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – CÁRCEL 37
TABLA IX CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – MACASTO 38
TABLA X CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO 38
TABLA XI CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO CÁRCEL 39
TABLA XII CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO MACASTO 40
TABLA XIII CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO – ASERRADERO QUERO 40
TABLA XIV CARGA, DESPLAZAMIENTO, TENSIÓN Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO CÁRCEL 42
TABLA XV ROTURA FUERZA Y TENSIÓN DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO CÁRCEL 42
TABLA XVI 45
TABLA XVII ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO CÁRCEL 45

TABLA XVIII CARGA, DESPLAZAMIENTO, TENSIÓN Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO MACASTO 46
TABLA XIX ROTURA FUERZA Y TENSIÓN DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO MACASTO 46
TABLA XX 48
TABLA XXI ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO MACASTO 48
TABLA XXII CARGA, DESPLAZAMIENTO, TENSIÓN Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO 49
TABLA XXIII ROTURA FUERZA Y TENSIÓN DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO 49
TABLA XXIV 52
TABLA XXV ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO – ASERRADERO QUERO 52
TABLA XXVI MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa) 53
TABLA XXVII ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa).....53
TABLA XXVIII MÓDULO DE ELASTICIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DE CIPRÉS 54
TABLA XXIX TIPOS DE FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE CIPRÉS POR EL ENSAYO A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA 55
TABLA XXX CARGA, DESPLAZAMIENTO, TENSIÓN Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO - CÁRCEL 57
TABLA XXXI ROTURA FUERZA Y TENSIÓN DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO - CÁRCEL 57
TABLA XXXII CARGA Y DEFLEXIÓN MÁXIMA, CARGA Y DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO CÁRCEL.....58
TABLA XXXIII CARGA, DESPLAZAMIENTO, TENSIÓN Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – MACASTO.....60
TABLA XXXIV ROTURA FUERZA Y TENSIÓN DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – MACASTO 61

TABLA XXXV CARGA Y DEFLEXIÓN MÁXIMA, CARGA Y DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO MACASTO 62
TABLA XXXVI CARGA, DESPLAZAMIENTO, TENSIÓN Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO 64
TABLA XXXVII ROTURA FUERZA Y TENSIÓN DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO.....64
TABLA XXXVIII CARGA Y DEFLEXIÓN MÁXIMA, CARGA Y DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO – ASERRADERO QUERO.....65
TABLA XXXIX MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa) 68
TABLA XL ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa).....68
TABLA XLI MÓDULO DE ELASTICIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DE CIPRÉS 69
TABLA XLII TIPOS DE FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE CIPRÉS POR EL ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA 70
TABLA XLIII MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE CIPRÉS SOMETIDA A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA (MPa) 72
TABLA XLIV MÓDULO DE ELASTICIDAD, CONTENIDO DE HUMEDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA ESTRUCTURAL ECUATORIANA SOMETIDA A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA (MPa) 75
TABLA XLV MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE CIPRÉS SOMETIDA A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA (MPa) 75
TABLA XLV MÓDULO DE ELASTICIDAD, CONTENIDO DE HUMEDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA ESTRUCTURAL ECUATORIANA SOMETIDA A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA (MPa).....78

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio experimental tiene como propósito fundamental proporcionar datos precisos y detallados sobre las características mecánicas de la madera de ciprés, con énfasis en su comportamiento frente a esfuerzos de flexión perpendicular a la fibra y tracción paralela a la fibra. Las muestras de madera utilizadas en las pruebas fueron obtenidas de tres ubicaciones específicas: los aserraderos Cárcel y Macasto en el cantón Ambato, y un aserradero del cantón Quero, todos situados en la provincia de Tungurahua. Este enfoque permitió evaluar la influencia del origen de la madera en sus propiedades mecánicas.

Para el desarrollo de las pruebas, se realizó un catastro de los aserraderos con sus respectivas propiedades mecánicas como carga, módulo de elasticidad y esfuerzo admisible, como primer paso metodológico, con el objetivo de identificar fuentes de madera de ciprés representativas de la provincia de Tungurahua. Las pruebas se ejecutaron bajo los lineamientos de la norma ASTM A143-94, que establece los procedimientos para la preparación y ensayo de probetas. Se fabricaron cinco probetas por cada tipo de ensayo mecánico, logrando un total de 30 muestras sometidas a análisis. Adicionalmente, se evaluaron propiedades físicas, como el contenido de humedad en estado verde y seco, siguiendo las especificaciones de la norma NTE INEN 896 (2013). Esto garantizó la uniformidad en las condiciones iniciales de las muestras, condición crucial para obtener resultados fiables. En los ensayos mecánicos, se determinaron el módulo de elasticidad y los esfuerzos admisibles mediante las fórmulas establecidas en la norma ASTM D198. Los datos obtenidos evidenciaron que la madera de ciprés presenta características mecánicas adecuadas para aplicaciones estructurales, especialmente en flexión perpendicular a la fibra, donde destacó la madera proveniente de los aserraderos Cárcel, Macasto y Quero por su notable resistencia. Sin embargo, los resultados en tracción paralela a la fibra fueron inferiores a los requerimientos para aplicaciones estructurales exigentes.

En conclusión, la madera de ciprés se perfila como una opción viable para estructuras sometidas a esfuerzos de flexión, siempre que se consideren sus limitaciones en tracción paralela, lo que subraya la importancia de seleccionar cuidadosamente su uso dependiendo de las exigencias del diseño estructural.

Palabras clave: Madera ciprés, flexión perpendicular, tracción paralela, propiedades físicas, propiedades mecánicas.

ABSTRACT

The present experimental study aims to provide precise and detailed data on the mechanical properties of cypress wood, with a focus on its behavior under perpendicular bending to the grain and parallel tensile forces to the grain. The wood samples used in the tests were obtained from three specific locations: the Cárcel and Macasto sawmills in the Ambato canton and a sawmill in the Quero canton, all located in the province of Tungurahua. This approach allowed for an assessment of the influence of the wood's origin on its mechanical properties.

To develop the tests, a survey of the sawmills and their respective mechanical properties, such as load capacity, modulus of elasticity, and allowable stress, was conducted as an initial methodological step to identify representative sources of cypress wood in Tungurahua province. The tests were carried out following the guidelines of ASTM A143-94, which establishes procedures for specimen preparation and testing. Five specimens were manufactured for each type of mechanical test, resulting in a total of 30 samples analyzed. Additionally, physical properties, such as moisture content in green and dry states, were evaluated in accordance with the specifications of NTE INEN 896 (2013). This ensured uniform initial conditions of the samples, a critical factor in obtaining reliable results.

In the mechanical tests, the modulus of elasticity and allowable stresses were determined using the formulas established in ASTM D198. The results showed that cypress wood exhibits suitable mechanical properties for structural applications, particularly in perpendicular bending to the grain. In this regard, the wood from the Cárcel, Macasto, and Quero sawmills stood out for its remarkable resistance. However, the results for parallel tensile forces were lower than the requirements for demanding structural applications.

In conclusion, cypress wood is a viable option for structures subjected to bending stresses, provided its limitations in parallel tension are considered. This highlights the importance of carefully selecting its use based on the demands of the structural design.

Keywords: Cypress wood, perpendicular bending, parallel tension, physical properties, mechanical properties.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

I. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

A nivel global, el uso de energía y recursos naturales ha alcanzado niveles preocupantes. En particular, los edificios destinados a vivienda y comercio son responsables aproximadamente el 40% del consumo final de energía y generan alrededor del 36% de las emisiones totales de CO2. A demás, el sector de la construcción utiliza el 30% de las materias primas disponibles y produce el 25% de los residuos sólidos generados a nivel global. Por lo que, se estima que para el 2030 habrá un déficit mundial de agua del 40%. Es importante destacar que, en este contexto, el sector de la construcción consume el 25% de los recursos hídricos disponibles, lo que agrava más la situación. Es así que, desde perspectiva ambiental, resulta fundamental adoptar una perspectiva ambientalmente responsable que promueva el uso de materias primas provenientes de fuentes renovables. Un ejemplo destacado es la madera, que durante su ciclo de vida no contribuye al aumento del CO2 en la atmósfera. Este enfoque no solo ayuda a mitigar el impacto ambiental, sino que también ofrece una alternativa sostenible para el desarrollo de infraestructuras [1].

Así pues, la madera ha sido utilizada como material de construcción desde tiempos inmemoriales, con sus raíces que se remontan al neolítico, cuando se perfeccionaron las herramientas de corte. En aquel entonces, la mayoría de las sociedades optaban por construir sus viviendas con madera debido a su ligereza y facilidad de manejo. A lo largo de los siglos, esta práctica ha perdurado, y la madera sigue siendo un recurso valioso en la arquitectura contemporánea. En la actualidad, países desarrollados como Estados Unidos cuentan con una robusta industria maderera que no solo se dedica a la construcción, sino que también se enfoca en la innovación, incorporando nuevas tecnologías y diseños en sus estructuras. Así, la madera continúa siendo un material versátil y relevante en el ámbito de la construcción, adaptándose a las necesidades y tendencias modernas [2].

Así mismo, en Ecuador los bosques primarios albergan una rica diversidad de especies forestales que poseen un alto potencial maderable. Sin embargo, hasta el momento, solo un número reducido de estas especies ha sido objeto de estudio, lo que limita la información disponible para su uso en la industria de la construcción. Dado este contexto, es fundamental llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre las especies que ya se utilizan como materiales de construcción, así como aquellas que aún no han sido caracterizadas adecuadamente en términos de sus propiedades estructurales. Este estudio no solo ampliaría el conocimiento sobre

el potencial maderable del país, sino que también contribuiría a la sostenibilidad y al desarrollo de prácticas constructivas más variadas e innovadoras. [3]

Por otra parte, la industria maderera en el Ecuador destaca por su fuerte tradición artesanal en el trabajo de la madera, lo que se debe tanto a la facilidad de manipulación de este material como a la abundancia de recursos naturales que posee. De hecho, alrededor del 51% de su territorio está cubierto por bosques nativos, lo que equivale a aproximadamente 12.631.198 hectáreas. De estas, un notable 53% se encuentra bajo protección, lo que garantiza la conservación de estos ecosistemas vitales. Esta combinación de recursos y compromiso con la sostenibilidad no solo respalda la industria artesanal, sino que también promueve un uso responsable y consciente de la madera en diversas aplicaciones [4].

Por consiguiente, en la provincia de Tungurahua según la Base de Datos del Catastro RUC del Servicio de Rentas Internas (SRI), existen 30 aserraderos, de los cuales 19 se encuentran en la ciudad de Ambato. De estos, 15 aserraderos están activos según los registros del SRI del año 2023. Este análisis proporciona una visión clara sobre la distribución y estado operativo de los aserraderos, lo que resulta relevante para entender la actividad económica de la región y puede ser útil para investigaciones y decisiones estratégicas en la industria de la madera en Tungurahua [5].

Siendo así, las propiedades físicas y mecánicas de las maderas lo más importante, ya que son los índices usados para evaluar si las características o a su vez la calidad de cierta madera son las adecuadas para un uso particular, así como para lograr conocer la mejor utilización desde el punto de vista estructural, mediante los resultados de resistencia obtenidos en laboratorio. En el presente trabajo investigativo se analizó el Ciprés (Cupressus), árbol que puede alcanzar hasta 30 metros de altura, su corteza es gruesa y de color marrón rojizo, teniendo presente fisuras longitudinales, obteniendo muestras y preparando probetas a flexión perpendicular y tracción paralela a la fibra de acuerdo a las normas NTE INEN 896 y ASTM D 143 – 94 [6].

Como demuestran Pérez y Rivera [7] las probetas de ciprés ensayadas a flexión perpendicular obtuvieron 16.67% de contenido de humedad, carga máxima igual a 5.25 kN, módulo de ruptura de 44.73 MPa, deflexión en carga máxima de 20.20 mm, carga en el límite proporcional de 3.42 kN y un esfuerzo en el límite proporcional de 29.18 MPa. Así mismo las probetas de tracción paralela obtuvieron 13.13% de contenido de humedad, una resistencia a la tracción paralela de 48.33 MPa y una deformación unitaria de 4.28E-02 mm/mm.

De esta forma, el presente trabajo investigativo presenta un catastro basado en el lugar de procesamiento, de las especies de ciprés de la provincia de Tungurahua, con información sobre sus propiedades estructurales. Por otro lado, la elaboración de probetas de madera de ciprés para determinar las propiedades físicas: contenido de humedad, y las propiedades mecánicas como: flexión perpendicular y tracción paralela a la fibra, de acuerdo a las Normas NTE INEN 896 y ASTM D 143 – 94. Finalmente, para garantizar la calidad y rendimientos de la madera de ciprés fue fundamental comparar las propiedades mecánicas en función del lugar de procesamiento.

II. JUSTIFICACIÓN

En la provincia de Tungurahua, Ecuador, la madera de ciprés (Cupressus) ha sido tradicionalmente utilizada en diversas aplicaciones no estructurales debido a su disponibilidad y resistencia natural. Sin embargo, su uso como material estructural ha sido limitado y no suficientemente explorado. La Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015) establece criterios estrictos para el uso de materiales en la construcción, y actualmente, no existe un análisis exhaustivo que evalúe si la madera de ciprés de los cantones de la provincia cumpla con estos requisitos. La falta de información técnica específica sobre las propiedades mecánicas del ciprés local plantea un problema significativo para su potencial adopción como material estructural en proyectos de construcción [8].

De manera que, realizar un catastro y posteriormente el análisis detallado de las propiedades mecánicas de la madera de ciprés proveniente de Tungurahua es esencial para determinar su ubicación y viabilidad como material estructural conforme a la NEC 2015. Este estudio no solo proporcionará datos técnicos cruciales que pueden fomentar un uso más amplio y seguro del ciprés en la construcción, sino que también puede contribuir a la diversificación de los materiales de construcción disponibles en Ecuador. Además, la utilización de recursos locales puede promover prácticas de construcción más sostenibles, alineándose con las tendencias globales hacia la sostenibilidad y la reducción de la huella de carbono en la industria de la construcción [9].

Uno de los desafíos principales en esta investigación es asegurar que el ciprés de Tungurahua cumpla con los estrictos estándares establecidos por la NEC 2015. Esto implica realizar una serie de pruebas mecánicas y físicas para evaluar el contenido de humedad, flexión y tracción como factores de desempeño del ciprés. Además, es crucial identificar y mitigar posibles irregularidades y defectos que puedan comprometer su uso en aplicaciones

estructurales. La investigación también deberá abordar la variabilidad natural de la madera, que puede afectar su consistencia y rendimiento en condiciones reales de construcción [10] [11]

Finalmente, el éxito de esta investigación podría tener un impacto significativo en la industria de la construcción en Ecuador. Al demostrar que el ciprés de Tungurahua es un material estructural viable, se abrirían nuevas oportunidades para la utilización de esta especie en proyectos de construcción, tanto a nivel local como nacional.

III. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

- *Características Básicas de la madera*

La madera es un material orgánico, de naturaleza fibrosa y con una densidad variable, que proviene de los árboles. Se distingue por ser anisotrópica (sus propiedades varían según la dirección) e higroscópica (absorbe y libera humedad del ambiente).

Sus propiedades y características no solo dependen de su composición química, sino también de su estructura, es decir, de cómo están dispuestos y orientados los diversos elementos que la conforman. Esta disposición interna es clave para entender el comportamiento de la madera como material.

- *Estructura de la Madera*

La madera, como material de naturaleza fibrosa, estructurada y esencialmente heterogénea, posee características particulares derivadas de su origen vegetal. Sus propiedades y usos están determinados por la composición química y las características de las células que la constituyen.

Este material está formado por una red de células longitudinales y transversales, cuya configuración da lugar a sus tres principales componentes químicos:

- Celulosa (40-60%)
- Hemicelulosa (5-25%)
- Lignina (20-40%)

Estos componentes orgánicos están constituidos por los siguientes elementos esenciales:

- Carbono: 45-50%
- Oxígeno: 38-42%

- Hidrógeno: 6%
- Nitrógeno: 1%
- Compuestos minerales: 10%

Esta compleja composición química es lo que define tanto el comportamiento como las posibilidades de aplicación de la madera en diversos ámbitos.

- *Partes del tronco*

Para analizar la estructura del tronco de un árbol, es necesario realizar un corte transversal. Este tipo de corte permite identificar las siguientes características principales:

1. Corteza externa: Es la capa más externa del tronco, encargada de proteger al árbol contra agentes externos como plagas, hongos y daños mecánicos.
2. Corteza interna o floema: Situada debajo de la corteza externa, transporta los nutrientes elaborados desde las hojas hacia el resto del árbol.
3. Cámbium: Es una capa delgada de células que genera nuevo tejido tanto hacia el exterior (floema) como hacia el interior (xilema).
4. Madera o xilema: La parte más gruesa del tronco, compuesta por anillos concéntricos. Transporta agua y minerales desde las raíces hacia las hojas. También brinda soporte estructural.
5. Anillos de crecimiento: Representan el crecimiento anual del árbol, con un anillo claro (crecimiento rápido en primavera) y uno oscuro (crecimiento lento en verano u otoño).
6. Médula: Es el núcleo central del tronco, compuesto por tejido blando y es donde se almacena energía en forma de nutrientes durante las etapas tempranas del crecimiento del árbol.

El análisis de estas características permite entender la funcionalidad y propiedades de la madera, así como el desarrollo y la salud del árbol.

Es así que, la madera es un material intrincado, cuyas propiedades y características dependen tanto de su composición como de su estructura interna. La disposición y orientación de los diversos elementos que la componen desempeñan un papel crucial en su comportamiento. Comprender cómo están alineados y organizados estos elementos permite una mejor comprensión del rendimiento y las capacidades de la madera como material de construcción.

Esta orientación estructural influye significativamente en la resistencia, durabilidad y otras propiedades mecánicas de la madera, destacando su naturaleza compleja y multifacética [12].

En 1880, el Ingeniero de Montes Eugenio Plá y Ravé publicó una obra destacada sobre la madera en lengua castellana. Su libro, titulado Maderas de construcción civil y naval, organiza sistemáticamente el contenido temático, comenzando con el estudio de la estructura anatómica de la madera. Un capítulo completo está dedicado a la física de la madera, y por primera vez se presentan valores referidos a las características mecánicas de maderas procedentes de la flora euroamericana y asiática. Aunque la falta de normalización en sus trabajos dificulta la comparación de resultados, es notable su diferenciación de las probetas según la zona del árbol de donde se obtuvieron (parte inferior del tronco, parte media del tronco y ramas) [13].

Es necesario resaltar, que la madera ha sido un componente integral, ya sea total o parcial, de las construcciones humanas desde el período neolítico. Incluso antes de disponer de herramientas con capacidad de corte suficiente, es muy probable que el ser humano utilizara la madera para construir sus primeros refugios. Desde esos primeros días, las estructuras de madera empezaron a aparecer en las primitivas chozas prehistóricas. A medida que pasaron los siglos, los métodos y sistemas para crear estructuras de madera se han ido perfeccionando y evolucionando, adaptándose a las necesidades y avances tecnológicos de cada época [14].

Es así que, la madera ha sido uno de los materiales de construcción más utilizados por el ser humano desde tiempos prehistóricos. A lo largo de los siglos, la madera ha demostrado ser un material confiable para la construcción de viviendas, puentes y otros tipos de infraestructuras. En el contexto moderno, la sostenibilidad y la eficiencia energética han renovado el interés por la madera como una alternativa viable y ecológica frente a materiales más industrializados como el acero y el hormigón [15].

Las propiedades mecánicas de la madera, tales como la resistencia a la compresión, tensión y flexión, son fundamentales para su utilización en estructuras. Estas propiedades están directamente influenciadas por factores como el contenido de humedad, la densidad y la presencia de defectos como nudos y grietas. La resistencia de la madera varía significativamente con el grado de humedad, lo que implica que las pruebas y evaluaciones deben estandarizarse a un contenido de humedad específico, generalmente el 12%, para obtener resultados comparables. Las irregularidades naturales en la madera pueden reducir su capacidad de carga

y durabilidad, lo que subraya la importancia de una selección cuidadosa y un procesamiento adecuado [16].

El ciprés (Cupressus) es una especie de madera conocida por su durabilidad y resistencia a la intemperie. Originaria de climas templados, el ciprés se ha adaptado bien a diversas regiones, incluida la provincia de Tungurahua en Ecuador. Esta especie es valorada tanto por su estética como por sus propiedades mecánicas, lo que la hace una opción popular para diversas aplicaciones estructurales. Sin embargo, para considerar su factibilidad como material estructural, es esencial realizar un análisis detallado de sus propiedades mecánicas específicas, tal como se requiere en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015) [17].

La NEC 2015 establece los estándares y requisitos para el uso de materiales en la construcción en Ecuador, incluyendo la madera. Esta normativa proporciona directrices específicas sobre cómo deben realizarse los ensayos de propiedades mecánicas y cómo debe evaluarse la madera para garantizar su idoneidad en aplicaciones estructurales. El cumplimiento de estos estándares es crucial para asegurar que la madera utilizada en la construcción sea segura, fiable y duradera. En el caso de la madera de ciprés proveniente de Tungurahua, se debe realizar un análisis riguroso para verificar que cumple con los parámetros establecidos por la NEC 2015.

Para el uso estructural de la madera, es crucial comprender dos conceptos clave relacionados con el contenido de humedad y las propiedades mecánicas utilizadas en el presente trabajo investigativo:

- *Ensayo Propiedades Físicas:*

La madera es un material anisotrópico, lo que significa que sus propiedades físicas y mecánicas varían según la dirección en la que se aplique el esfuerzo. En este contexto, se distinguen tres direcciones principales, cada una con características específicas:

1. Dirección longitudinal:
    - Corresponde al eje principal de la fibra, es decir, paralelo al crecimiento del árbol.
    - Es la dirección donde la madera presenta mayor resistencia y rigidez, ya que coincide con la orientación de las fibras y células del xilema.

- Comúnmente utilizada para soportar esfuerzos de tracción, compresión y flexión.

2. Dirección radial:
    - Es perpendicular a los anillos de crecimiento y se extiende desde la médula hacia el exterior del tronco.
    - Presenta propiedades mecánicas intermedias.
    - Es importante en la evaluación de contracción y expansión debido a cambios en la humedad.
3. Dirección tangencial:
    - Es paralela a los anillos de crecimiento y tangente a ellos.
    - Es la dirección menos resistente y más propensa a deformaciones, especialmente frente a cambios de humedad.
    - Se asocia con la aparición de grietas o deformaciones al secar la madera.

El conocimiento de estas direcciones es fundamental para el diseño y uso eficiente de la madera en aplicaciones estructurales y decorativas, ya que el comportamiento del material dependerá directamente de la orientación en que se utilice.

- *Contenido de Humedad:*

La humedad de la madera es la propiedad que tiene el mayor impacto sobre sus características físicas y mecánicas. La estructura interna de la madera contiene una cantidad significativa de agua, que se encuentra distribuida de la siguiente manera:

1. Agua libre o agua de los vasos (agua de celulosa):
    - Es el agua que se encuentra en los poros y vasos de la madera. No está fuertemente unida a las paredes celulares y puede ser fácilmente eliminada mediante secado.
    - Esta agua afecta principalmente el peso de la madera y su comportamiento dimensional (expansión o contracción).

2. Agua ligada o agua de los microscopios (agua de la pared celular):

    - Es el agua que está adsorbida dentro de las paredes celulares de la madera, ligada a las fibras de celulosa, hemicelulosa y lignina.
    - Este tipo de agua afecta las propiedades mecánicas, como la resistencia y la rigidez, y tiene un impacto directo sobre la dimensionalidad de la madera (aunque no en la misma magnitud que el agua libre).
    - Es más difícil de eliminar, y la cantidad de agua ligada está influenciada por la humedad relativa del ambiente.

La cantidad total de humedad en la madera varía dependiendo de la especie, el entorno y el proceso de secado. La humedad relativa es un factor clave que influye sobre la estabilidad dimensional y las propiedades mecánicas de la madera, como la resistencia a la compresión y la flexión. Por esta razón, el control de la humedad es fundamental para el uso adecuado de la madera en diversas aplicaciones.

Punto de Saturación de las Fibras (PSF): Este estado de la madera se alcanza cuando toda el agua libre en las cavidades celulares ha evaporado, pero las paredes celulares siguen saturadas. En este punto, el contenido de humedad de la madera varía entre el 24% y el 30%.

Contenido de Humedad de Equilibrio (CHE): Este concepto se refiere a la pérdida de humedad del material hasta alcanzar un equilibrio con la atmósfera circundante. El CHE representa el máximo contenido de humedad que la madera puede tener bajo una determinada temperatura y humedad relativa del ambiente.

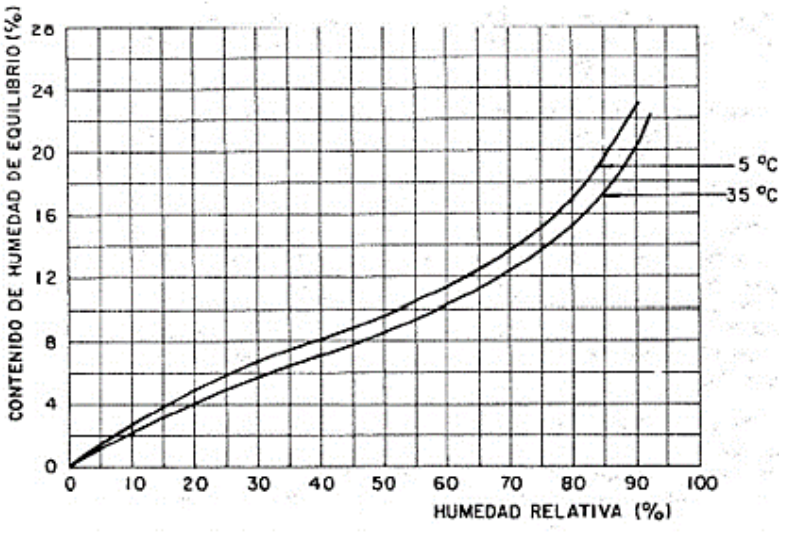


Fig. 1 Contenido de humedad CHE en función de la humedad relativa y la temperatura

- *Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra:*

La resistencia a la flexión de una viga se refiere a su capacidad para soportar una carga puntual aplicada en el centro de la luz, lo que permite determinar la tensión en el límite de proporcionalidad, la tensión de rotura y el módulo de elasticidad [18].

Esta resistencia varía según la orientación de las fibras y los anillos de la madera, en relación con la dirección en que se aplica la carga. La resistencia es máxima cuando la carga actúa perpendicularmente a las fibras de la madera.

Cuando un elemento estructural se somete a flexión, se genera una distribución de esfuerzos en su sección transversal:

- Las fibras superiores de la viga están sometidas a compresión, mientras que las fibras inferiores están sometidas a tracción.
- Estos esfuerzos permiten que la viga transmita la carga a los apoyos.
- En la zona media de la viga, situada entre las fibras superiores e inferiores, no se generan esfuerzos de compresión ni de tracción. Esta es conocida como la zona neutra, donde el esfuerzo de corte es el que predomina y es prácticamente cero en términos de tracción y compresión.

Es así que, las probetas deben ser seleccionadas y preparadas según las especificaciones de la norma ASTM D143-94, asegurando que sean libres de defectos y uniformes en tamaño. Este ensayo es una prueba utilizada para evaluar las propiedades mecánicas de la madera cuando está sometido a una carga de flexión aplicada perpendicularmente a la dirección de las fibras. Este ensayo es particularmente importante para determinar la resistencia de la madera en estructuras donde se enfrentan cargas transversales, como en vigas o elementos sometidos a flexión.

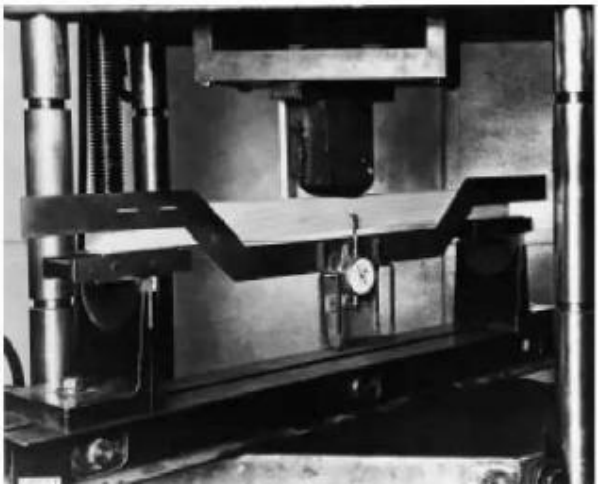


Fig. 2 Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra

- *Ensayo de Tracción paralela a la fibra:*

La madera es un material especialmente adecuado para ser sometido a tracción paralela a las fibras. Su estructura fibrosa le confiere una mayor resistencia a la tracción que a la compresión. De hecho, la resistencia a tracción de la madera es aproximadamente dos veces superior a la resistencia a compresión, lo que la hace ideal para aplicaciones donde se requiera soportar fuerzas de estiramiento o tensado a lo largo de las fibras, como en cables, cuerdas, o vigas de tracción. Esta característica destaca la eficiencia de la madera al resistir esfuerzos de elongación, lo cual es crucial en muchos diseños estructurales y mecánicos.

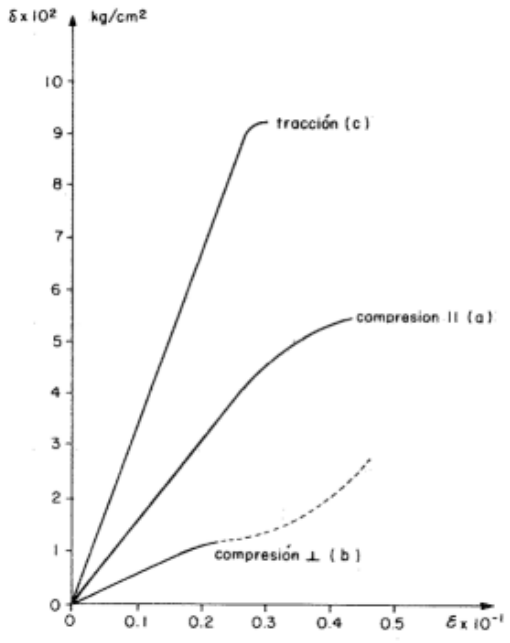


Fig. 3 Curva Esfuerzo – Deformación de la madera

Es así que, las probetas deben ser seleccionadas y preparadas según las especificaciones de la norma ASTM D143-94, asegurando que sean libres de defectos y uniformes en tamaño. Este ensayo es una prueba mecánica que evalúa la capacidad del material para resistir fuerzas de tracción aplicadas en la dirección longitudinal de las fibras. Este ensayo es importante porque la madera presenta su máxima resistencia mecánica cuando las cargas se aplican paralelamente a las fibras, como tirantes en estructuras de madera, aprovechando la disposición estructural del material.



Fig. 4 Ensayo de Tracción paralela a la fibra

Es así, que la factibilidad del ciprés como material estructural en la provincia de Tungurahua depende de un análisis exhaustivo de sus propiedades mecánicas en comparación con los requisitos de la NEC 2015. Este análisis incluye la evaluación de la resistencia a la flexión y tracción, anteriormente mencionados.

Además, se consideraron aspectos prácticos como la disponibilidad de esta madera en los cantones de la provincia de Tungurahua, su procesamiento y la información sobre sus propiedades estructurales. Si el ciprés cumple con los estándares establecidos, podría convertirse en una opción para la construcción en la provincia, aportando información que aporte en ingeniería civil.

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades mecánicas de la madera de ciprés (Cupressus), provenientes de la provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de acuerdo a la norma ecuatoriana de la construcción 2015 (NEC 2015).

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un catastro basado en el lugar de procesamiento, de las especies de ciprés de la provincia de Tungurahua, con información sobre sus propiedades estructurales.
- Elaborar probetas de madera de ciprés para determinar las propiedades físicas: contenido de humedad, y las propiedades mecánicas como: flexión perpendicular a la fibra y tracción paralela a la fibra, de acuerdo a las Normas NTE INEN 896 y ASTM D 143 – 94.
- Comparar las propiedades mecánicas de la madera de ciprés en función del lugar de procesamiento.

C. HIPÓTESIS

La madera de ciprés (Cupressus) proveniente de la provincia de Tungurahua posee propiedades mecánicas que cumplen con los estándares establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La metodología del presente trabajo experimental se determinó en tres fases, en la primera se realizó un catastro basado en el lugar de procesamiento, de las especies de ciprés de la provincia de Tungurahua, con información sobre sus propiedades estructurales, en la segunda se elaboraron probetas de madera de ciprés para determinar las propiedades físicas: contenido de humedad, y las propiedades mecánicas como: flexión perpendicular a la fibra y tracción paralela a la fibra, de acuerdo a las Normas NTE INEN 896 y ASTM D 143 – 94. Finalmente, en la tercera se compararon las propiedades mecánicas de la madera de ciprés en función del lugar de procesamiento.

El desarrollo del trabajo investigativo se basó en las tres fases descritas anteriormente.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

En la primera fase el equipo a utilizar fue un Software Ingenieril para la elaboración del catastro de los aserraderos que contaron con la madera de ciprés en la Provincia de Tungurahua.

Posteriormente, en la segunda fase se elaboraron las probetas de madera de ciprés, por lo cual para su elaboración de utilizó un tablón por lugar que contó con el procesamiento de la madera de ciprés, aserraderos ubicados en cada provincia de Tungurahua, con las que se dio forma a las probetas que se ensayaron a flexión perpendicular a la fibra y tracción paralela a la fibra.



Fig. 5 Madera de ciprés – Aserradero ubicado en el cantón Quero

En primer lugar, para llevar a cabo el ensayo de las propiedades físicas relacionadas con el contenido de humedad, se adquirieron y utilizaron 3 muestras de madera de ciprés, cada una con un peso no inferior a 20 gramos, provenientes de cada cantón del que se obtuvo el ciprés.

El procedimiento se realizó utilizando un horno eléctrico (CONTROLS – Serie 5651279) y una balanza electrónica (CAMRY - EK3550-31P), garantizando así la exactitud y fiabilidad en la medición de los resultados.



Fig. 6 Tronco de ciprés

Por otro lado, para los ensayos mecánicos la normativa ASTM D 143 – 94 sugiere realizar de 5 a 10 probetas para cada ensayo, por lo que se elaboraron 5 probetas para el ensayo de flexión perpendicular a la fibra por el método secundario y 5 probetas para el ensayo de tracción paralela a la fibra por el método primario.

TABLA I
NÚMERO DE PROBETAS A FLEXIÓN ESTÁTICA Y TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA POR CANTONES

N°	Cantón	N° de Probetas	Ensayo
1	Ambato – Cárcel	5	Flexión perpendicular a la fibra
		5	Tracción paralela
2	Ambato – Macasto	5	Flexión perpendicular a la fibra
		5	Tracción paralela
3	Quero	5	Flexión perpendicular a la fibra
		5	Tracción paralela
TOTAL PROBETAS		**30**	Flexión perpendicular a la fibra y Tracción paralela

Por lo que se utilizó una máquina universal para realizar los ensayos de flexión y tracción (SHIMADZU AGS-X 50 kN).



Fig. 7 Máquina universal

Finalmente, en la tercera fase el equipo utilizado fue un software ingenieril para analizar y comparar los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de la madera de ciprés obtenido de cada cantón.

II. MÉTODOS

Como se indicó previamente, el presente trabajo investigativo cuenta con tres fases que permitieron lograr los objetivos establecidos. A continuación, se describió la metodología empleada en cada una de estas fases.

A. FASE 1: ELABORACIÓN DE CATASTRO

Se realizó un catastro basado en el lugar de procesamiento, de las especies de ciprés de la provincia de Tungurahua, con información sobre sus propiedades estructurales, por lo que se realizó mediante el método de investigación en campo ya que este enfoque implicó la recolección directa de datos acerca de la distribución de la madera de ciprés, identificando los aserraderos ubicados dentro de cada cantón de la provincia y proceder con la compra de las muestras de ciprés. De modo que, se recopilaron muestras representativas de ciprés de los cantones Ambato y Quero.

A continuación, en la Fig. 8 se detalla los aserraderos que contaban con el procesamiento de madera de ciprés, donde se brindó asistencia para la obtención de las piezas.

Cada aserradero se acompaña de sus coordenadas geográficas específicas, lo que permite una identificación clara y precisa de su ubicación. Esta información es fundamental para comprender la distribución y disponibilidad de este valioso recurso en la provincia.

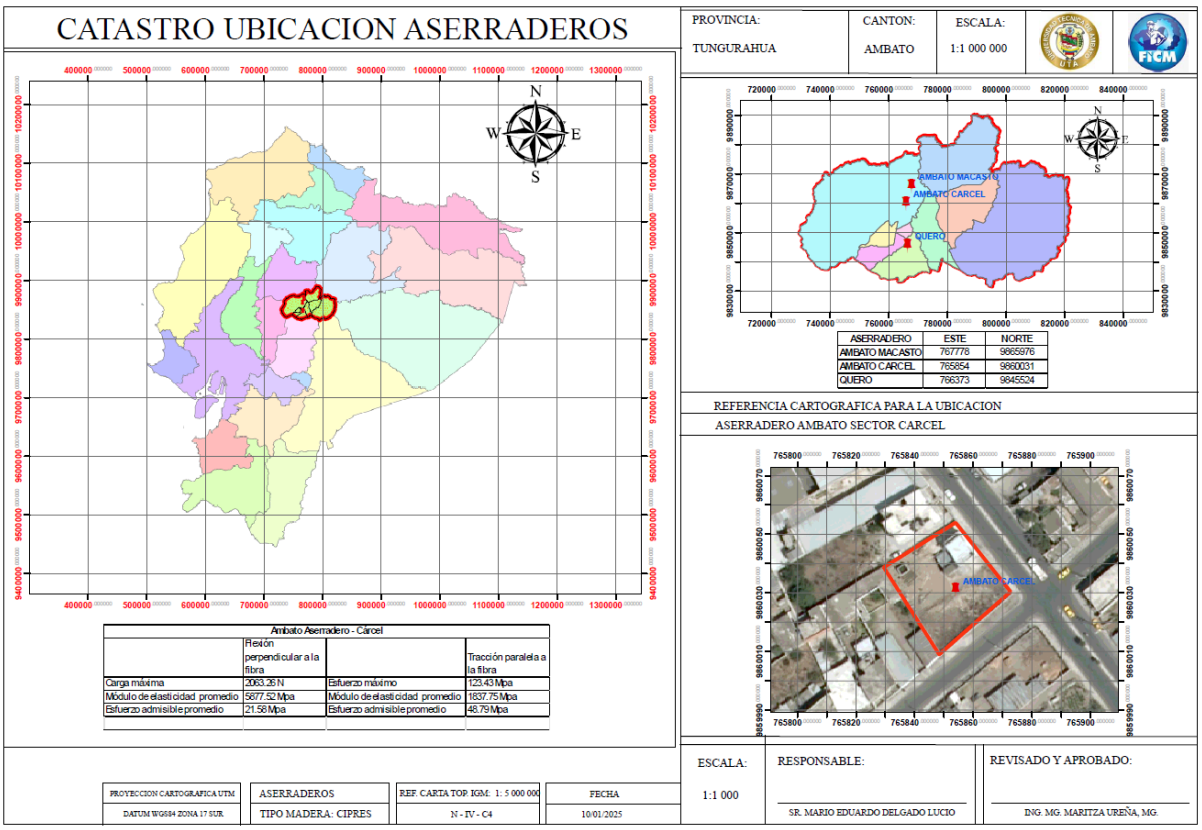


Fig. 8 Catastro de aserraderos que cuentan con la madera de ciprés en la provincia de Tungurahua

TABLA II

COORDENADAS DE LOS LUGARES DE PROCESAMIENTO DE LA MADERA DE CIPRÉS EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA

Cantón	**Nombre Propietario**	**Norte (m)**	**Este (m)**	**Elevación (m)**
Ambato Macasto	Carmen Amelia Guaño Guaño	9865976	0767778	2618
Ambato Cárcel	Edwin Patricio Rodríguez Guaño	9860031	0765854	2665
Quero	Benjamín Brijido Benalcázar Silva	9845524	0766373	3044



Fig. 9 Recolección de coordenadas de los aserraderos

B. FASE 2: ELABORACIÓN DE PROBETAS Y DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS

Se elaboraron las probetas de madera de ciprés para determinar las propiedades físicas: contenido de humedad, y las propiedades mecánicas como: flexión perpendicular a la fibra y tracción paralela a la fibra, de acuerdo a las Normas NTE INEN 896 y ASTM D 143 – 94, por lo que se usó el método de investigación experimental ya que implicó la manipulación y control de variables en un entorno controlado para observar y analizar los efectos de esas variables en el fenómeno estudiado. [18] [19]

Una vez la madera de ciprés fue identificada y verificada, mediante sus nudos, los cuales son generalmente pequeños y de forma redondeada o irregular, bien adheridos, lo que significa que rara vez se caen o dejan huecos visibles, en cuanto a la coloración, suelen ser ligeramente más oscuros que el resto de la madera, con tonos marrones. Aunque no afectan significativamente la resistencia del ciprés, los nudos pueden influir en su trabajabilidad, especialmente al aserrar o cepillar.

Por otro lado, el color de la madera de ciprés varía desde tonos amarillo claro a marrón rojizo, volviéndose más oscuro con el tiempo y la exposición a la luz.



Fig. 10 Color y nudos de la Madera de Ciprés

Las actividades realizadas en cada ensayo fueron las siguientes:

1. Ensayo Contenido de Humedad

Para llevar a cabo el ensayo físico de contenido de humedad se basó en el Método A de la norma ASTM D4442 – 07, en donde, se utilizaron 3 muestras de madera de ciprés, es decir, recién cortada, asegurando que cada muestra pesara al menos 20 gramos por cada cantón (Ambato y Quero). Permitiendo obtener datos sobre el nivel de humedad en la madera.



Fig. 11 Muestras de madera de los cantones Ambato y Quero

a) Procedimiento de Ensayo

Este ensayo de contenido de humedad consistió en primer lugar, se anotó el que sería el peso húmedo de cada una de las muestras, las cuales no deben tener un peso menor a 20 g, usando 3 muestras por aserradero; Aserradero Cárcel, Aserradero Macasto y Aserradero Quero, un total de 9 muestras, registrando los pesos de cada muestra mediante una balanza electrónica previamente calibrada.



Fig. 12 Toma de peso húmedo de cada muestra

Se, sometió la madera a un proceso de secado en un horno a una temperatura de 103 ± 5°C, procurando temperatura constante durante un mínimo de 20 horas (24 horas recomendado).



Fig. 13 Muestras colocadas en el horno a temperatura 103 ± 5°C

Finalmente, después del secado se retiraron las muestras horno y se obtuvo el peso seco al horno o anhidro, anotándolo todo en gramos.



Fig. 14 Toma de peso seco o anhidro de cada muestra

Con estos datos de peso, se procedió a aplicar la Ec. 1 para determinar el contenido de humedad, según lo estipulado en la norma NTE INEN 896:2013, como se muestra a continuación:

$$Contenidod\ e\ humedad\ (\%) = \frac{Peso\ húmedo - Peso\ anhidro}{Peso\ anhidro} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

Contenido de humedad (%)	Cantidad de agua presente en la madera en relación con su peso total o volumen.
Peso húmedo	El peso total de un trozo de madera recién cortado.

Peso anhidro También conocido como “peso seco al horno”, ya que este se consigue por medio del uso de un horno a 103 ± 3°C.

Una vez que se ha determinado el contenido de humedad, se procedió a realizar los ensayos descritos en este proyecto. Esto incluye tanto el ensayo de flexión perpendicular a la fibra como el ensayo de tracción paralela a la fibra.

Según la norma, se deben realizar entre 5 y 10 probetas para los ensayos de flexión perpendicular a la fibra y tracción paralela a la fibra. En este caso, se fabricaron 5 probetas para cada ensayo anteriormente mencionado. Estas probetas cumplieron con las siguientes especificaciones para garantizar la validez de los resultados obtenidos.

TABLA III

ESPECIFICACIONES DE ENSAYO DE LA MADERA SEGÚN NORMA ASTM D 143 – 94

Especificaciones según la Norma ASTM D 143 – 94		
ENSAYO	**MÉTODOS**	
	Método Primario (mm)	**Método Secundario (mm)**
Flexión perpendicular a la fibra	50 x 50 x 760	25 x 25 x 410
Tracción paralela a la fibra	25 x 25 x 460	--

Fuente: ASTM D 143 – 94

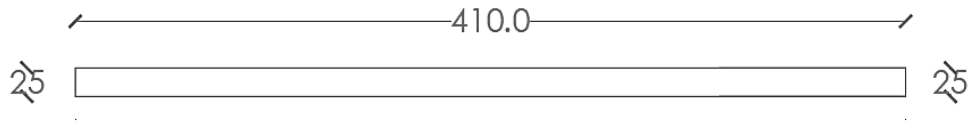


Fig. 15 Dimensiones en (mm) de las probetas destinadas a ensayo de Flexión perpendicular a la fibra

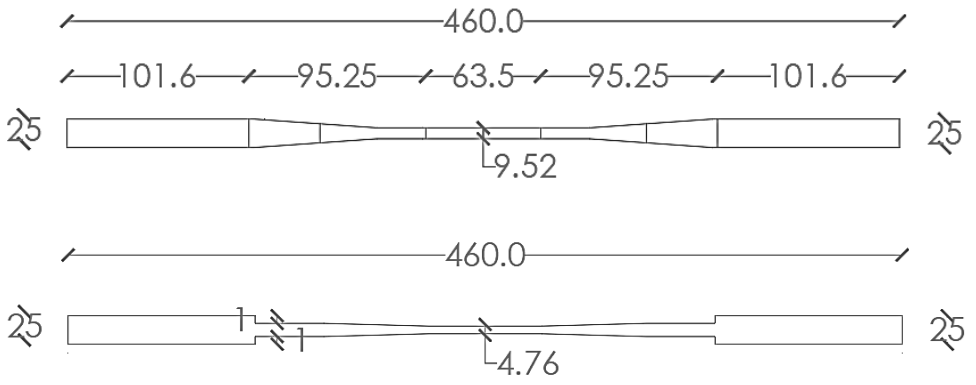


Fig. 16 Dimensiones en (mm) de la cara frontal y lateral de las probetas destinadas a ensayo de Tracción paralela a la fibra

Una vez adquiridas los tablones de madera de ciprés, con dimensiones aproximadas de 2.40 m x 22 cm x 9 cm, los cuales habían sido secados de manera natural durante al menos un año en cada cantón, se procedió con el siguiente método para obtener las probetas de las dimensiones requeridas.

Por lo que, el proceso de fabricación de las probetas para ensayo a flexión perpendicular a la fibra y tracción paralela a la fibra fue el siguiente:

2. *Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra y Tracción paralela a la fibra:*

a) *Canteado*

El proceso consistió en mejorar los bordes del tablón de madera, cortando los bordes de la madera en ángulos rectos, creando una superficie sin imperfecciones.



Fig. 17 Canteado de los tablones de la madera de ciprés

b) *Corte*

Dado que el tablón de madera de ciprés tiene un largo de 2,40 m y un ancho de 22 cm, se decidió cortarlo en tiras con un espesor de 3,0 cm, permitiendo maximizar el uso del material y obtener las dimensiones necesarias para las probetas.



Fig. 18 Corte de tablón en tiras con espesor de 3,0 cm de espesor

Y luego, se realizaron tiras de 3,0 x 3,0 cm de ancho, para obtener las dimensiones adecuadas que se requieren para los ensayos mecánicos.



Fig. 19 Corte en tiras de 3,0 cm x 3,0 de ancho

c) Cepillado

Con las medidas establecidas, se procedió a cepillar las tiras hasta obtener el espesor de 2,5 x 2,5 cm requerido.



Fig. 20 Cepillado de tiras para espesor de 2,5 x 2,5 cm

d) Cortado para probetas a Flexión perpendicular a la fibra según norma ASTM D143 – 94

- *Dimensiones de las probetas*

Las medidas de las probetas para el ensayo de flexión perpendicular a la fibra fueron de 41 cm x 2,50 cm x 2,50 cm según el método secundario especificado en la norma ASTM D143 – 94, como se muestra en la Fig. 21.



Fig. 21 Corte en tiras de 41 cm x 2,50 cm x 2,50 cm para ensayo a Flexión perpendicular a la fibra

- *Identificación*

Se procedió a identificar las probetas para el ensayo de flexión perpendicular a la fibra y cantón al que pertenecen. A continuación, en la Tabla IV se detalló la identificación de cada probeta.

TABLA IV

IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS PARA ENSAYO A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

N°	Cantón	Ensayo	Identificación
1	Ambato – Aserradero Cárcel	Flexión perpendicular a la fibra	FC-1
			FC-2
			FC-3
			FC-4
			FC-5
2	Ambato – Aserradero Macasto	Flexión perpendicular a la fibra	FM-1
			FM-2
			FM-3
			FM-4
			FM-5
3	Quero – Aserradero Quero	Flexión perpendicular a la fibra	FQ-1
			FQ-2
			FQ-3
			FQ-4
			FQ-5

- *Procedimiento de Ensayo*

1. Se utilizó una máquina SHIMADZU AGS-X 50 kN para ensayo de flexión previamente calibrada y equipada con soportes ajustables y un dispositivo para aplicar la carga en el centro de la probeta



Fig. 22 Máquina SHIMADZU AGS-X 50 kN para ensayo de flexión

2. Se colocaron los apoyos a una longitud de tramo de 360 mm (14 pulgadas) para el método secundario en base a la norma ASTM D143 – 94.



Fig. 23 Colocación de apoyos para método secundario

3. Posteriormente, se ingresaron las variables del ensayo, es decir con una velocidad de carga de 1.3 mm/min, espesor y ancho de la probeta, es decir 2.5 x 2.5 cm y finalmente la distancia entre apoyos igual a 360 mm.

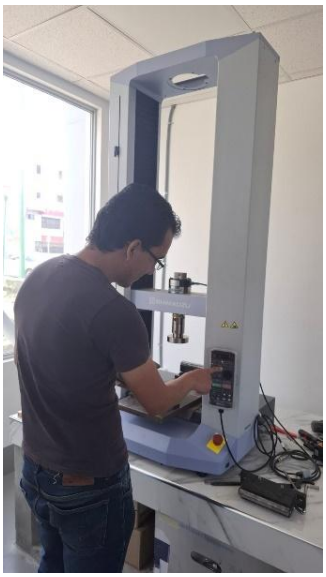


Fig. 24 Datos del ensayo ingresados en máquina para ensayo a flexión

4. Luego, se colocó la probeta de madera de ciprés en el centro de los apoyos, tomando como referencia las líneas que estos muestran. Se colocó la carga precisamente en el centro de la probeta previamente señalado y mediante el control manual asegurar que la carga no presente movimiento hasta obtener una fuerza positiva.



Fig. 25 Colocación de probetas de madera en el centro de los apoyos

5. Después, se procedió a encerar la fuerza y el desplazamiento, luego se aplicó una precarga y nuevamente se enceró fuerza y desplazamientos. Se presionó 2 veces el botón START para dar inicio al ensayo.



Fig. 26 Inicio del ensayo a flexión perpendicular a la fibra

6. Finalmente, ensayadas las probetas y generadas las fallas, fue importante GUARDAR y EXPORTAR datos, los cuales tendrán un formato csv, para luego cambiarlo a formato xlsx.



Fig. 27 Probeta de madera de ciprés ensayada a flexión

En el momento que la carga es aplicada en la muestra de madera de ciprés por la maquina universal, los tipos de fallas se caracterizaron por su forma de fractura y la apariencia del material después de ensayarse, estas se clasificaron en:

1. Tensión simple
2. Tensión transversal a la fibra
3. Tensión de astilla fila
4. Tensión abrupta
5. Compresión
6. Corte horizontal

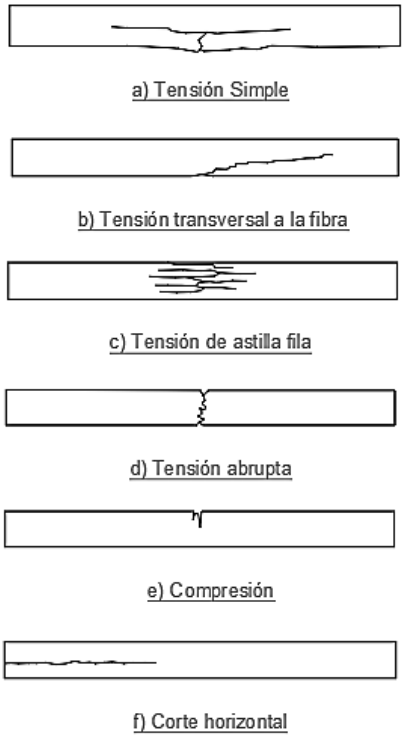


Fig. 28 Tipos de fallas en flexión perpendicular a la fibra según norma ASTM 143 – 94

Por otra parte, las fórmulas necesarias para determinar el cálculo del ensayo de flexión perpendicular a la fibra fueron las siguientes:

Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional (MPa):

$$S' = \frac{3P'L}{2bd^2} \tag{2}$$

Donde:

$\boldsymbol{P'}$ Carga aplicada en el límite proporcional (N)

$\boldsymbol{L}$ Distancia entre los apoyos (mm)

$\boldsymbol{b}$ Ancho de la probeta (mm)

$\boldsymbol{d}$ Profundidad de la probeta (mm)

Módulo de ruptura o esfuerzo máximo (MPa):

$$SR = \frac{3P_{máx}L}{2bd^2} \tag{3}$$

Donde:

$\boldsymbol{P_{máx}}$ Carga máxima (N)

$\boldsymbol{L}$ Distancia entre los apoyos (mm)

$\boldsymbol{b}$ Ancho de la probeta (mm)

$\boldsymbol{d}$ Profundidad del espécimen de flexión (mm)

Módulo de Elasticidad Aparente (MPa):

$$E_{app} = \frac{PL^2}{4bd^3\Delta} \tag{4}$$

Donde:

$\boldsymbol{P}$ Carga en el rango elástico (N)

$\boldsymbol{L}$ Distancia entre los apoyos (mm)

$\boldsymbol{b}$ Ancho de la probeta (mm)

$\boldsymbol{d}$ Profundidad de la probeta (mm)

Δ Deflexión del espécimen en el límite proporcional (mm)

Esfuerzo Admisible (MPa):

$$E_{adm} = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} \times E_{ult} \tag{5}$$

Donde:

$\boldsymbol{F.C}$ Factor de reducción por calidad

$\boldsymbol{F.T}$ Factor de reducción por tamaño

$\boldsymbol{F.S}$ Factor de servicio y seguridad

$\boldsymbol{F.D}$ Factor de duración de carga

$\boldsymbol{E_{ult}}$ Esfuerzo último o Módulo de Ruptura

TABLA V

FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA MADERA

Factores de Reducción	
Factor de reducción por calidad	0.80
Factor de reducción por tamaño	0.90
Factor de servicio y seguridad	2.10
Factor de duración de carga	1.15

e) Cortado para probetas a Tracción paralela a la fibra según norma ASTM D143 – 94

- *Dimensiones de las probetas*

Las medidas probetas para el ensayo de tracción paralela a la fibra fueron de 46 cm x 2,50 cm x 2,50 cm y se basó en el método primario de las especificaciones establecidas por la norma ASTM D143-94. Así, las probetas fueron cortadas internamente como se muestra en la Fig. 28.



Fig. 29 Dimensiones en (mm) de las probetas destinadas a ensayo de Tracción paralela a la fibra

- *Identificación*

Se procedió a identificar las probetas para el ensayo de tracción paralela a la fibra y cantón al que pertenecen. A continuación, en la Tabla VI se detalló la identificación de cada probeta.

TABLA VI

IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

N°	Cantón	Ensayo	Identificación
1	Ambato – Aserradero Cárcel	Tracción paralela a la fibra	TC-1
			TC-2
			TC-3
			TC-4
			TC-5
2	Ambato – Aserradero Macasto	Tracción paralela a la fibra	TM-1
			TM-2
			TM-3
			TM-4
			TM-5
3	Quero – Aserradero Quero	Tracción paralela a la fibra	TQ-1
			TQ-2
			TQ-3
			TQ-4
			TQ-5

- *Procedimiento de Ensayo*

1. Se utilizó una máquina SHIMADZU AGS-X 50 kN para ensayo de tracción previamente calibrada.



Fig. 30 D Máquina SHIMADZU AGS-X 50 kN para ensayo de tracción

2. Las mordazas fueron cambiadas con las medidas de la probeta a ensayarse con la ayuda del técnico encargado. Luego, se eligió el tipo de ensayo es decir a Tracción.



Fig. 31 Colocación de mordazas en máquina para ensayo de tracción

3. Posteriormente, se ingresaron las variables del ensayo, es decir con una velocidad de carga de 1.0 mm/min, espesor y ancho de la probeta, es decir 4.5 x 9 cm y finalmente la distancia entre apoyos igual a 360 mm.



Fig. 32 Datos del ensayo ingresados en máquina para ensayo a tracción

4. A continuación, se colocó la probeta en la máquina y se ajustaron las puntas con las mordazas. Después, se procedió a encerar la fuerza y el desplazamiento, luego se aplicó una precarga y nuevamente se enceró fuerza y desplazamientos. Se presionó 2 veces el botón START para dar inicio al ensayo.



Fig. 33 Colocación de probetas de madera en el centro de las mordazas

5. Finalmente, ensayadas las probetas y generadas las fallas, fue importante GUARDAR y EXPORTAR datos, los cuales tendrán un formato csv, para luego cambiarlo a formato xlsx.



Fig. 34 Probeta de madera de ciprés ensayada a tracción

En el momento que la carga es aplicada en la muestra de madera de ciprés por la maquina universal, los tipos de fallas se caracterizaron por su forma de fractura y la apariencia del material después de ensayarse, estas se clasificaron en:

a) Tensión cortes limpios
b) Combinados de tensión y corte
c) Tensión cortante
d) Tensión frágil

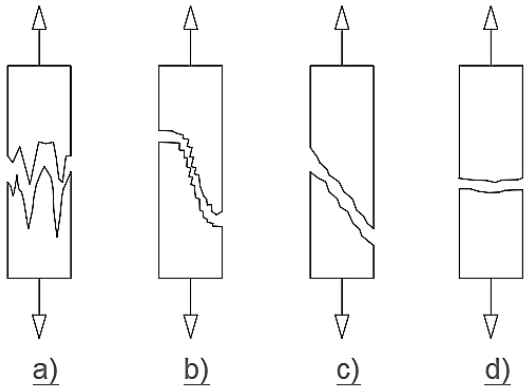


Fig. 35 Tipos de falla a tracción paralela a la fibra

Las fórmulas necesarias para determinar el cálculo del ensayo de tracción paralela a la fibra fueron las siguientes:

Resistencia a la Tracción (MPa):

$$\sigma_t = \frac{Pmáx}{A} \tag{6}$$

Donde:

$\boldsymbol{\sigma_t}$ Resistencia a la tracción (N/mm² o MPa)

$\boldsymbol{Pmáx}$ Carga máxima soportada por la probeta (N)

$\boldsymbol{A}$ Área de la sección transversal de la probeta (mm²)

Tensión en el límite proporcional (MPa):

$$\sigma'_t = \frac{P'máx}{A} \tag{7}$$

Donde:

$\boldsymbol{P'máx}$ Carga aplicada en el límite proporcional (N)

$\boldsymbol{A}$ Área de la sección transversal de la probeta (mm²)

Módulo de Elasticidad (MPa):

$$E_{axial} = \frac{\sigma'_t}{\varepsilon} \tag{8}$$

Donde:

$\boldsymbol{\sigma'_t}$ Carga aplicada en el límite proporcional (N)

$\boldsymbol{\varepsilon}$ Deformación en el límite proporcional (mm/mm)

Esfuerzo admisible (MPa):

$$Eadm = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} \times Eult \tag{9}$$

Donde:

$\boldsymbol{F.C}$ Factor de reducción por calidad

$\boldsymbol{F.T}$ Factor de reducción por tamaño

$\boldsymbol{F.S}$ Factor de servicio y seguridad

$\boldsymbol{F.D.C}$ Factor de duración de carga

$\boldsymbol{Eult}$ Esfuerzo último (MPa)

TABLA VII

FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA MADERA

Factores de Reducción	
Factor de reducción por calidad	--
Factor de reducción por tamaño	--
Factor de servicio y seguridad	2.10
Factor de duración de carga	--

C. FASE 3: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE CIPRÉS

Finalmente, se compararon las propiedades mecánicas de la madera de ciprés en función del lugar de procesamiento, por lo que se usó el método de investigación comparativa ya que implicó la evaluación sistemática de dos o más variables para identificar similitudes y diferencias entre ellas. Se identificaron y seleccionaron las zonas de procesamiento de ciprés en la provincia de Tungurahua de las cuales se recolectaron muestras de ciprés que fueron sometidas a pruebas mecánicas estándar, tales como resistencia a la flexión y tracción, siguiendo los procedimientos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015).

Los resultados de estas pruebas se registraron y analizaron para detectar similitudes y diferencias significativas en las propiedades mecánicas de la madera según su origen. Empleando técnicas estadísticas para evaluar la variabilidad y significancia de las diferencias encontradas. Este análisis permitió determinar cómo el lugar de procesamiento influye en las propiedades mecánicas del ciprés, proporcionando información valiosa para la optimización del uso de este recurso en aplicaciones estructurales.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo, se describen los resultados obtenidos y ejecutados de manera cronológica con el fin de alcanzar los objetivos propuestos mediante tres fases a continuación:

I. FASE 1

En la presente fase los resultados obtenidos fueron tres catastros, de los aserraderos que contaban con el procesamiento de la madera de ciprés pertenecientes a la provincia de Tungurahua, es decir: Ambato y Quero, con el objetivo de lograr su correcta identificación. La información completa se encuentra en el Anexo A del presente trabajo investigativo, el que cuenta con información de cada aserradero, ubicación exacta, propiedades mecánicas como: carga, módulo de elasticidad y esfuerzo máximo de la madera.

II. FASE 2

A. PROPIEDADES FÍSICAS

Se obtuvieron las propiedades físicas de muestras de ciprés de 3 aserraderos de la provincia de Tungurahua ubicados en los cantones Ambato y Quero, determinando su contenido de humedad verde y contenido de humedad seco, como se muestra a continuación:

1. Contenido de humedad verde

Para determinar el contenido de humedad verde en la madera de ciprés, se recolectaron tres muestras por cada aserradero; Aserradero Cárcel, Aserradero Macasto y Aserradero Quero, seleccionadas de árboles de ciprés recién talados. En total, se obtuvieron 9 muestras, asegurando representatividad en los datos.

TABLA VIII

CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – CÁRCEL

N° Muestra	Cantón	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1	Ambato – Cárcel	44.59	19.09	133.58
2		40.05	16.13	148.30
3		41.64	17.87	133.02
Promedio		**42.09**	**17.70**	**138.30**

TABLA IX

CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – MACASTO

N° Muestra	Cantón	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1	Ambato – Macasto	35.23	15.11	133.16
2		35.19	15.16	132.12
3		35.32	15.19	132.52
Promedio		**35.25**	**15.15**	**132.60**

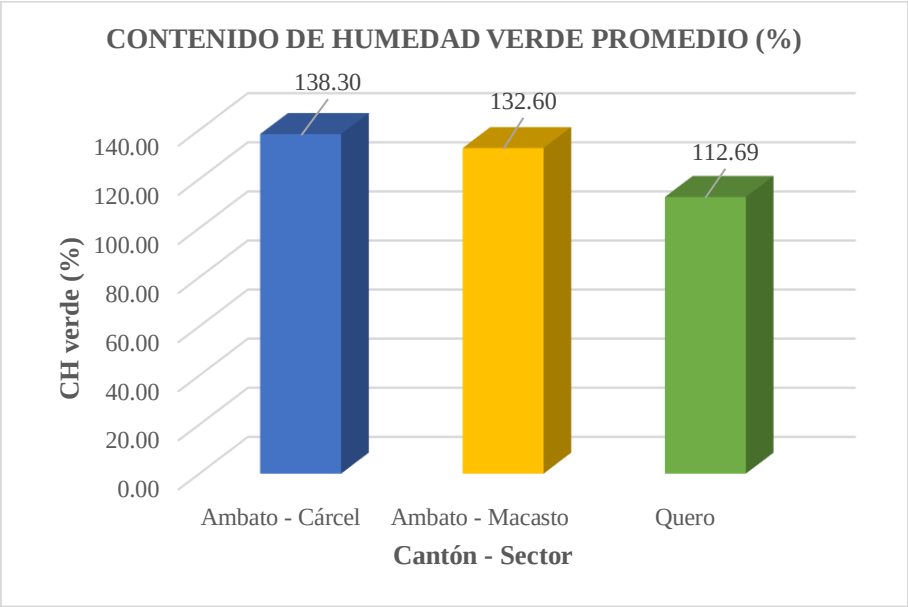
TABLA X

CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO

N° Muestra	Cantón	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1	Quero	75.98	37.04	105.13
2		67.23	31.65	112.42
3		52.64	23.87	120.53
Promedio		**65.28**	**30.85**	**112.69**

El valor de Contenido de Humedad se obtuvo aplicando la ecuación (Ec. 1).

Interpretación: A partir de los resultados obtenidos en el análisis del contenido de humedad verde de la madera de ciprés, se puede concluir que la madera proveniente del aserradero Ambato – Cárcel presentó el mayor contenido de humedad, alcanzando un valor del 138.30%. Por otro lado, la madera recolectada del Aserradero – Quero mostró el contenido de humedad verde más bajo, con un 112.69%. Este comportamiento podría deberse a las propiedades particulares del ciprés, que le permiten retener más agua en estado verde.



Gráfica I Promedio contenido de humedad verde de la madera de ciprés

Por lo tanto, al haber utilizado el Método A, descrita en la normativa AST D4442 – 07 define que la madera en estado verde como el ciprés analizado, generalmente presenta un contenido de humedad superior al 100%, ya que este porcentaje se calcula con base en el peso seco al horno de la muestra. Para su uso en aplicaciones estructurales, el contenido de humedad debe reducirse mediante procesos de secado hasta niveles entre 12% y 19%, dependiendo del entorno y la finalidad.

El contenido de humedad verde del ciprés (112.69% – 138.30%) excede ampliamente los niveles recomendados para aplicaciones prácticas, lo que implica la necesidad de un adecuado secado antes de su uso. El secado permitirá estabilizar la madera, reduciendo el riesgo de hinchazón, contracción o aparición de grietas. Este proceso es esencial para garantizar su calidad y estabilidad estructural.

2. *Contenido de humedad seco*

Para determinar el contenido de humedad seco de la madera de ciprés, se llevó a cabo un proceso de medición tras conocer que la madera ha tenido un secado natural durante al menos un año. Este secado permitió reducir la humedad de la madera de forma gradual y uniforme. Posteriormente, se utilizó un medidor de humedad especializado (higrómetro) para medir con precisión el porcentaje de humedad presente en la madera en el momento antes de realizar las pruebas mecánicas con las probetas. A partir de este procedimiento, se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA XI

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO CÁRCEL

N° Muestra	**Cantón**	**Contenido de humedad (%)**	**Fotografía**	**Probeta ensayo**
1	Ambato – Aserradero Cárcel	15.3		Flexión perpendicular a la fibra Tracción paralela a la fibra

TABLA XII

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO MACASTO

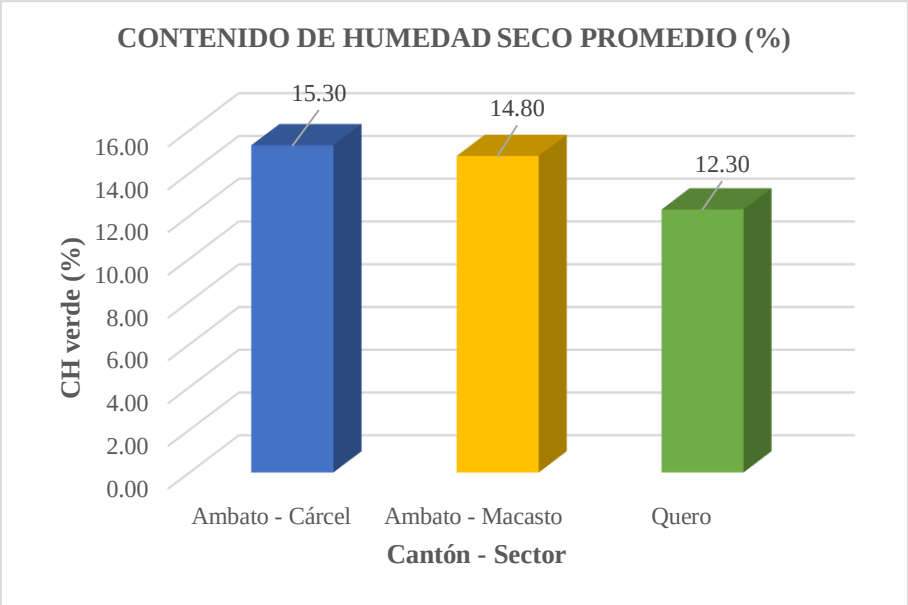
N° Muestra	**Cantón**	**Contenido de humedad (%)**	**Fotografía**	**Probeta ensayo**
2	Ambato – Aserradero Macasto	12.3		Flexión perpendicular a la fibra Tracción paralela a la fibra

TABLA XIII

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO – ASERRADERO QUERO

N° Muestra	**Cantón**	**Contenido de humedad (%)**	**Fotografía**	**Probeta ensayo**
3	Quero – Aserradero Quero	14.8		Flexión perpendicular a la fibra Tracción paralela a la fibra

Interpretación: Las Tablas XI, XII y XIII, indican que el contenido de humedad 15.3% correspondiente al cantón Ambato – Aserradero Cárcel es superior. Según normas internacionales y estudios sobre el comportamiento de la madera, un contenido de humedad entre 12% y 19% se considera ideal para pruebas mecánicas, ya que representa el estado de equilibrio higroscópico en muchas zonas climáticas. Por lo tanto, el valor de 15.3% sigue siendo aceptable y no comprometería los resultados.



Gráfica II Promedio contenido de humedad seco de la madera de ciprés

B. PROPIEDADES MECÁNICAS

Se obtuvieron las propiedades mecánicas de los tipos de ensayos: flexión perpendicular a la fibra y tracción paralela a la fibra, Para ello se emplearon 30 probetas, distribuidas equitativamente entre ambos ensayos, con 15 probetas asignadas a cada uno.

1. Flexión perpendicular a la fibra

A continuación, se presentan, las gráficas y dos tablas que resumen los resultados obtenidos del ensayo de flexión perpendicular realizado en la madera de ciprés en los aserraderos de Ambato (Aserradero Cárcel y Macasto) y Quero.

La primera tabla detalla las cargas aplicadas, desplazamientos, tensiones y deformaciones máximas observadas en cada muestra. Por su parte, la segunda tabla muestra el valor máximo de rotura por fuerza y tensión. Por otro lado, la gráfica representa la Fuerza vs Desplazamiento de las probetas ensayadas.

a) Ambato – Aserradero Cárcel

TABLA XIV

CARGA, DESPLAZAMIENTO, TENSIÓN Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO CÁRCEL

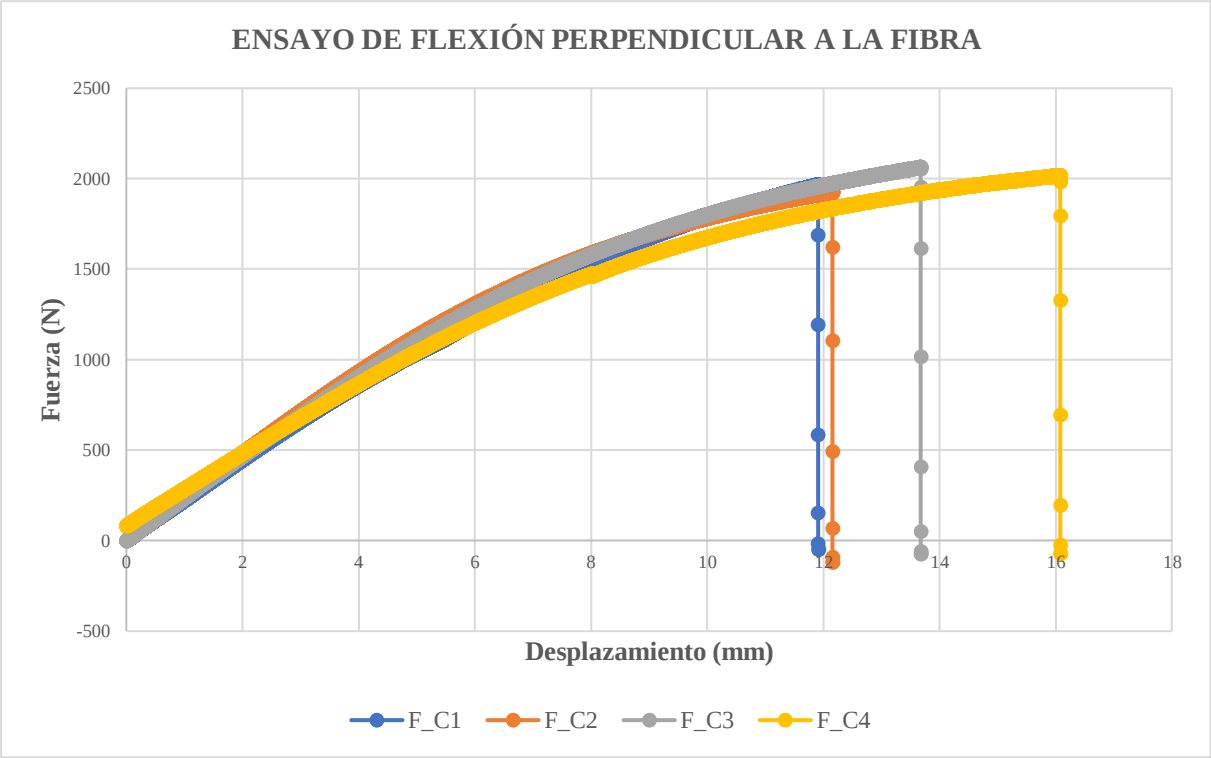
Muestra	**Carga máxima (N)**	**Desplazamiento máximo (mm)**	**Tensión máxima (MPa)**	**Deformación máxima (%)**	**Disposición**
FC – 1	1967.49	11.9090	64.8342	1.40041	
FC – 2	1927.95	12.1545	63.5313	1.42928	
FC – 3	2063.26	13.6723	67.9902	1.60777	
FC – 4	2018.75	16.0761	66.5234	1.89043	
FC – 5	969.712	5.80188	31.9548	0.68226	Descartado

TABLA XV

ROTURA FUERZA Y TENSIÓN DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO CÁRCEL

Muestra	**Rotura_Fuerza (N)**	**Rotura_Tensión (MPa)**
FC – 1	1967.49	64.8342
FC – 2	1927.81	63.5269
FC – 3	2063.14	67.9863
FC – 4	2018.70	66.5218
FC – 5	967.495	31.8817

Los valores obtenidos de las Tablas XIV y XV, se obtuvieron por medio del ensayo de flexión paralela a la fibra con la ayuda de la máquina universal.

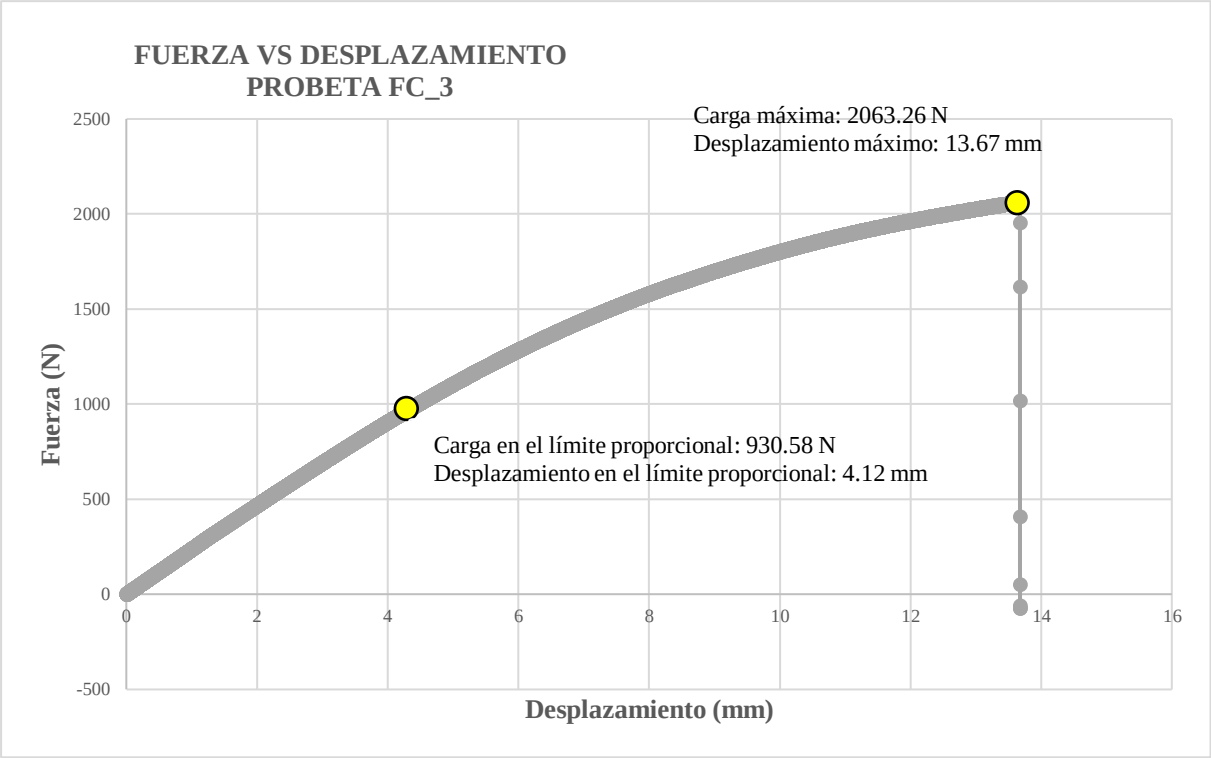


Gráfica III Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra, Fuerza vs Desplazamiento de probetas FC 1 – 4

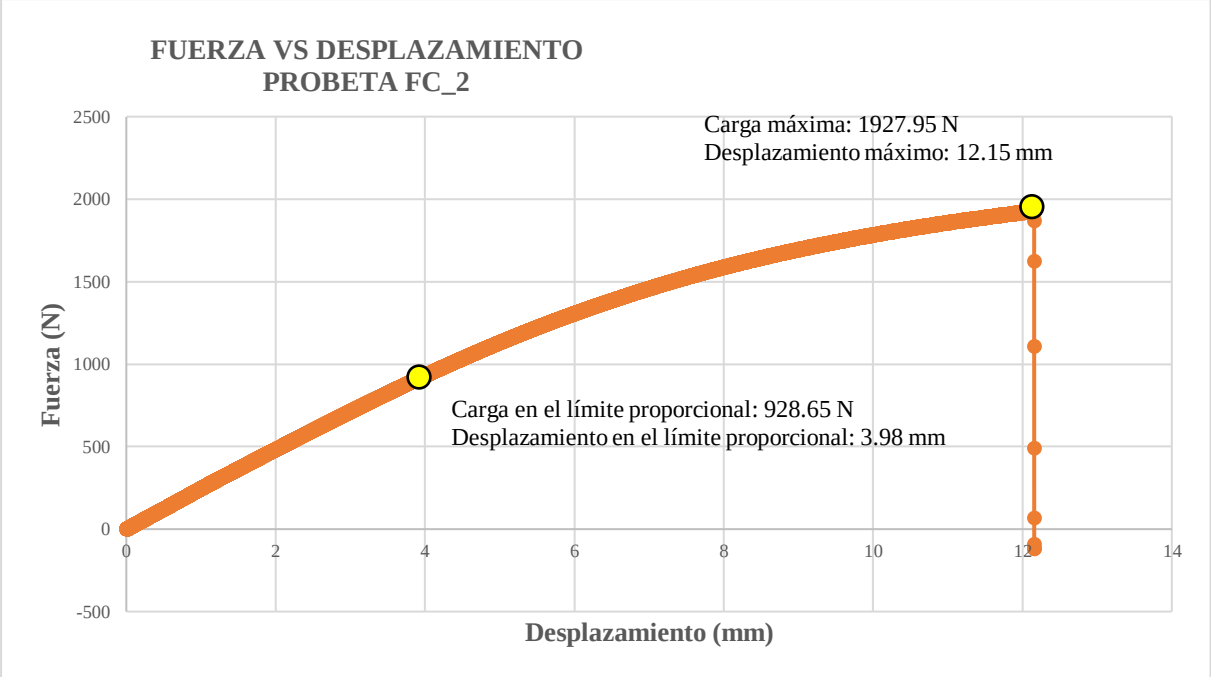
Interpretación: Según la investigación sobre la factibilidad de la implementación del ciprés como elemento estructural realizada por Herrera, los ensayos de flexión en la madera de ciprés arrojaron un valor de fuerza máxima de 2.860 kN (o 2860 N) [20]. Este resultado es comparable con la fuerza máxima registrada en el presente ensayo, que fue de 2063.26 N, lo que demuestra una consistencia entre los datos y los resultados reportados en la Tabla XVII. Además, esta consistencia explica la decisión de descartar la probeta FC_5, posiblemente debido a valores atípicos o discrepancias significativas en su desempeño.

A continuación, en la Gráfica IV, se presenta la relación entre la carga aplicada y la deflexión de la probeta FC_3, que registró la resistencia máxima durante el ensayo. Esta gráfica permite observar el comportamiento del material bajo carga, destacando su capacidad para soportar esfuerzos antes de alcanzar el punto de falla.

Por otro lado, en la Gráfica V, se muestra la relación carga vs. deflexión de la probeta FC_2, que obtuvo la resistencia mínima. Este análisis evidencia el límite inferior de desempeño del material, reflejando las variaciones naturales en las propiedades mecánicas de la madera.



Gráfica IV Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra, Fuerza vs Desplazamiento máximo de la probeta FC_3



Gráfica V Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra, Fuerza vs Desplazamiento mínimo de la probeta FC_2

TABLA XVI

CARGA Y DEFLEXIÓN MÁXIMA, CARGA Y DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO CÁRCEL

Muestra	**Carga máxima (N)**	**Deflexión en carga máxima (mm)**	**Carga en el límite proporcional (N)**	**Deflexión en el límite proporcional (mm)**
FC – 1	1967.49	11.909	874.76	4.082
FC – 2	1927.95	12.154	928.65	3.986
FC – 3	2063.26	13.672	930.58	4.120
FC – 4	2018.75	16.076	927.18	4.332

TABLA XVII

ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO CÁRCEL

Muestra	**Esfuerzo en el límite proporcional (MPa)**	**Resistencia máxima (MPa)**	**Módulo de elasticidad (MPa)**	**Esfuerzo admisible (MPa)**
FC – 1	30.232	67.996	6398.872	21.286
FC – 2	32.094	66.630	6956.683	20.858
FC – 3	32.161	71.306	6744.410	22.322
FC – 4	32.043	69.768	6390.916	21.840
Promedio	**36.984**	**68.925**	**6622.720**	**21.577**

El valor de esfuerzo en el límite proporcional, resistencia máxima, módulo de elasticidad y esfuerzo admisible, se obtuvieron aplicando las ecuaciones (Ec. 2 a la Ec. 5) respectivamente.

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de flexión perpendicular realizado a las probetas de madera de ciprés provenientes del Aserradero Ambato – Cárcel, se determinaron dos parámetros importantes para evaluar su comportamiento mecánico. En primer lugar, se calculó un módulo de elasticidad promedio de 6622.72 MPa, el cual refleja la capacidad de la madera para resistir deformaciones bajo una carga aplicada.

Por otro lado, se obtuvo un esfuerzo admisible promedio de 21.58 MPa, que indica el límite máximo de tensión que la madera puede soportar de manera segura antes de alcanzar su punto de falla. Este parámetro es fundamental para diseñar estructuras que utilicen esta madera como material principal, ya que permite garantizar la seguridad y estabilidad de dichas estructuras.

b) Ambato – Aserradero Macasto

TABLA XVIII

CARGA, DESPLAZAMIENTO, TENSIÓN Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO MACASTO

Muestra	Carga máxima (N)	Desplazamiento máximo (mm)	Tensión máxima (MPa)	Deformación máxima (%)	Disposición
FM – 1	1808.86	8.76507	59.6070	1.03071	
FM – 2	1403.41	5.61079	46.2464	0.65979	Descartado
FM – 3	1149.87	6.67434	37.8914	0.78485	Descartado
FM – 4	2241.53	19.5150	73.8648	2.29482	
FM – 5	2572.93	18.2432	84.7852	2.14527	

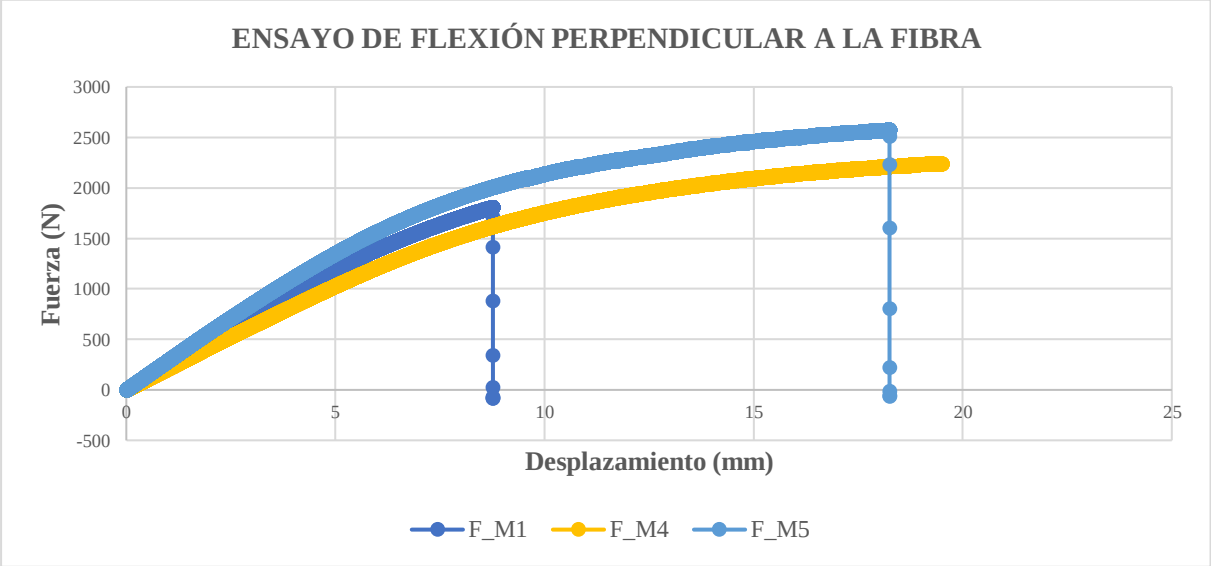
TABLA XIX

ROTURA FUERZA Y TENSIÓN DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO MACASTO

Muestra	Rotura_Fuerza (N)	Rotura_Tensión (MPa)
FM – 1	1808.86	59.6070
FM – 2	--	--
FM – 3	1149.87	37.8914
FM – 4	2241.53	73.8648
FM – 5	2572.82	84.7815

Los valores obtenidos de las Tablas XVIII y XIX, se obtuvieron por medio del ensayo de flexión paralela a la fibra con la ayuda de la máquina universal.

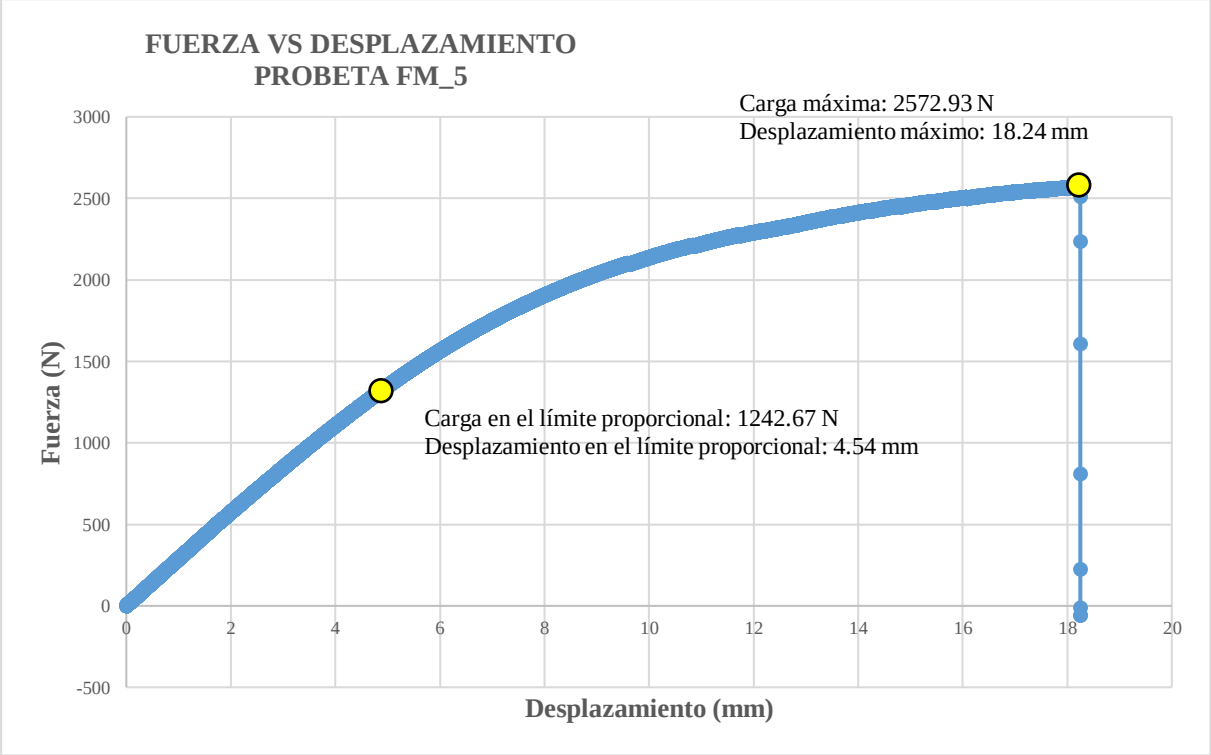
Por otro lado, no existen valores de la probeta FM-2 debido a que no sufrió rotura, por lo que la máquina universal no registro dicho valor.



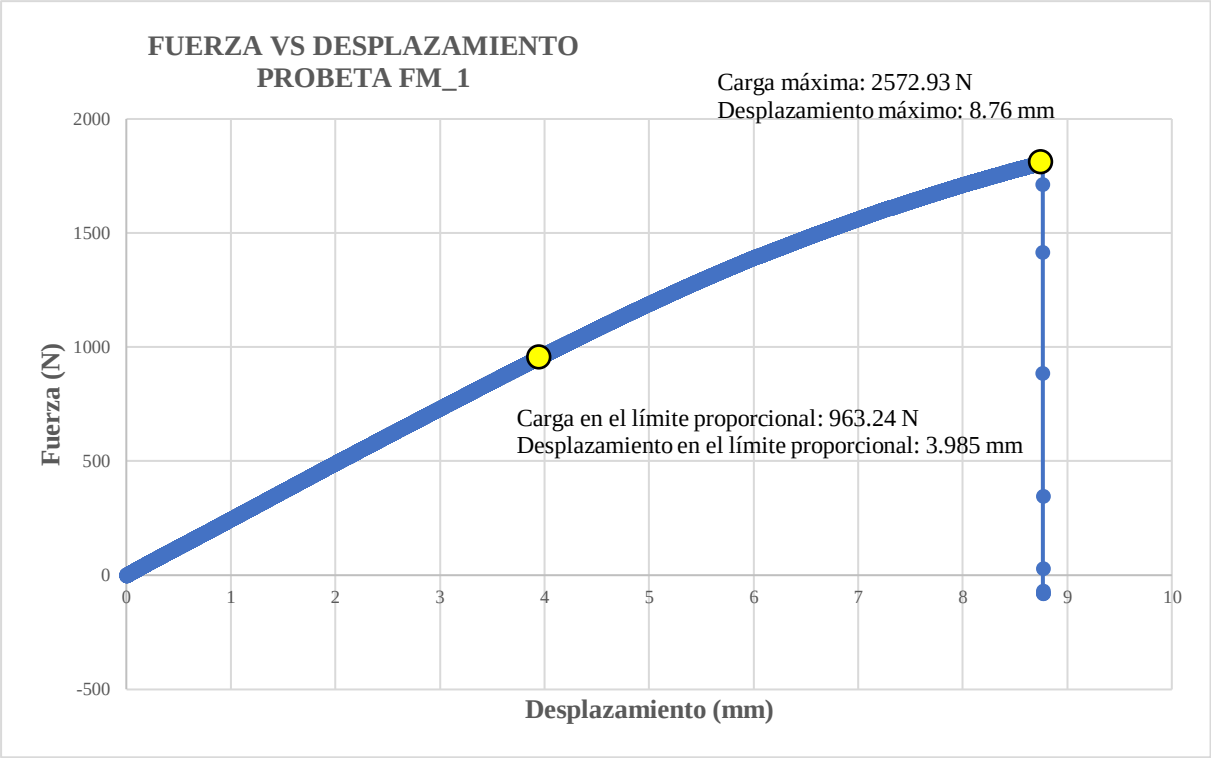
Gráfica VI Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra, Fuerza vs Desplazamiento de probetas FM 1, 4, 5

Interpretación: Según la investigación sobre la factibilidad de la implementación del ciprés como elemento estructural realizada por Herrera, los ensayos de flexión en la madera de ciprés arrojaron un valor de fuerza máxima de 2.860 kN (o 2860 N) [20]. Este resultado es comparable con la fuerza máxima registrada en el presente ensayo, que fue de 2572.93 N, lo que demuestra una consistencia entre los datos y los resultados reportados en la Tabla XXI. Además, esta consistencia explica la decisión de descartar las probetas FM_2 y FM_3, posiblemente debido a valores atípicos o discrepancias significativas en su desempeño.

A continuación, en la Gráfica VII, se presenta la relación entre la carga aplicada y la deflexión de la probeta FM_5, que registró la resistencia máxima durante el ensayo. Por otro lado, en la Gráfica VIII, se muestra la relación carga vs. deflexión de la probeta FM_1, que obtuvo la resistencia mínima.



Gráfica VII Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra, Fuerza vs Desplazamiento máximo de la probeta FM_5



Gráfica VIII Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra, Fuerza vs Desplazamiento mínimo de la probeta FM_1

TABLA XX

CARGA Y DEFLEXIÓN MÁXIMA, CARGA Y DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO MACASTO

Muestra	**Carga máxima (N)**	**Deflexión en carga máxima (mm)**	**Carga en el límite proporcional (N)**	**Deflexión en el límite proporcional (mm)**
FM - 1	1808.86	8.76507	963.24	3.985
FM - 4	2241.53	19.515	1066.097	5.199
FM - 5	2572.93	18.2432	1242.677	4.549

TABLA XXI

ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO MACASTO

Muestra	**Esfuerzo en el límite proporcional (MPa)**	**Resistencia máxima (MPa)**	**Módulo de elasticidad (MPa)**	**Esfuerzo admisible (MPa)**
FM - 1	33.290	62.514	7217.614	19.570
FM - 4	36.844	77.467	6123.002	24.251
FM - 5	42.947	88.920	8156.988	27.836
Promedio	**37.694**	**76.301**	**7165.868**	**23.885**

El valor de esfuerzo en el límite proporcional, resistencia máxima, módulo de elasticidad y esfuerzo admisible, se obtuvieron aplicando las ecuaciones (Ec. 2 – Ec. 5) respectivamente.

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de flexión perpendicular realizado a las probetas de madera de ciprés provenientes del Aserradero Ambato – Macasto, se determinaron dos parámetros importantes para evaluar su comportamiento mecánico. En primer lugar, se calculó un módulo de elasticidad promedio de 7165.87 MPa, el cual refleja la capacidad de la madera para resistir deformaciones bajo una carga aplicada.

Por otro lado, se obtuvo un esfuerzo admisible promedio de 23.89 MPa, que indica el límite máximo de tensión que la madera puede soportar de manera segura antes de alcanzar su punto de falla. Este parámetro es fundamental para diseñar estructuras que utilicen esta madera como material principal, ya que permite garantizar la seguridad y estabilidad de dichas estructuras.

c) Quero – Aserradero Quero

TABLA XXII

CARGA, DESPLAZAMIENTO, TENSIÓN Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO

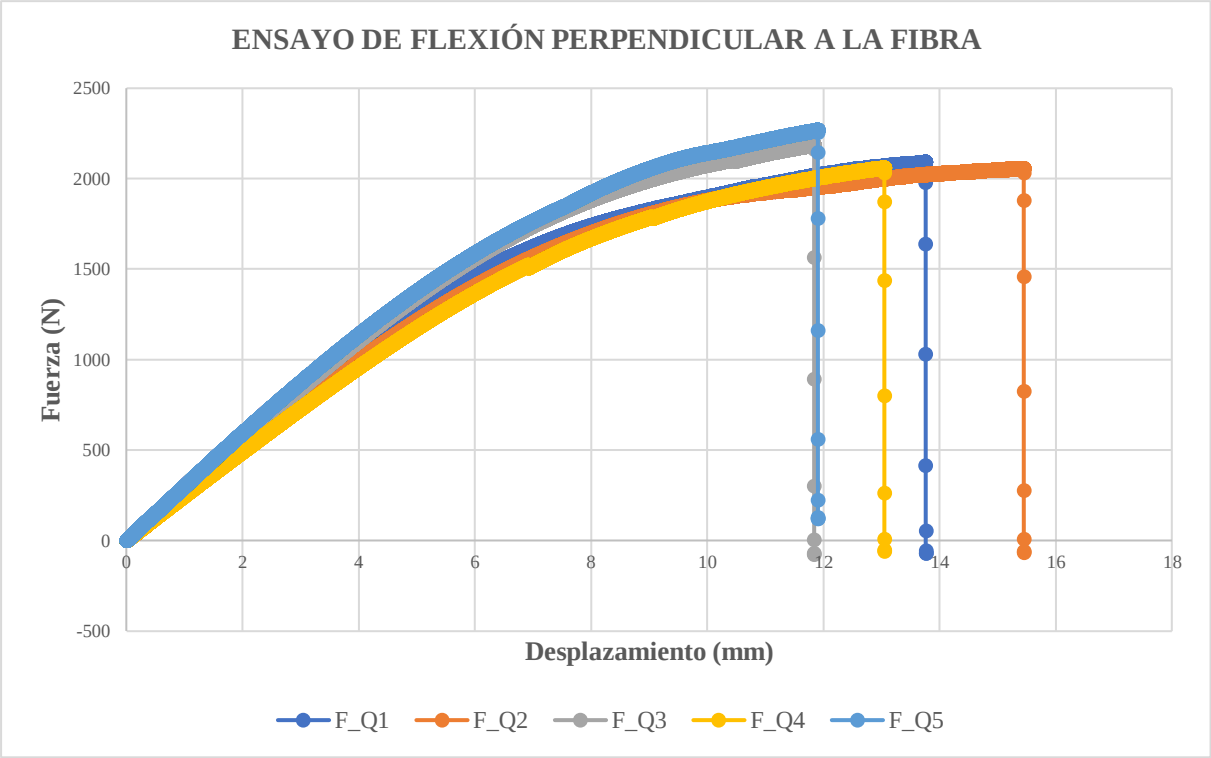
Muestra	**Carga máxima (N)**	**Desplazamiento máximo (mm)**	**Tensión máxima (MPa)**	**Deformación máxima (%)**
FQ – 1	2091.52	13.7607	68.9215	1.61816
FQ – 2	2056.59	15.4493	67.7705	1.81672
FQ – 3	2188.64	11.8404	72.1217	1.39234
FQ – 4	2060.93	13.0490	67.9135	1.53447
FQ – 5	2269.21	11.9043	74.7770	1.39985

TABLA XXIII

ROTURA FUERZA Y TENSIÓN DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO

Muestra	**Rotura_Fuerza (N)**	**Rotura_Tensión (MPa)**
FQ – 1	2091.52	68.9215
FQ – 2	2056.59	67.7705
FQ – 3	2188.64	72.1217
FQ – 4	2060.93	67.9135
FQ – 5	2269.09	74.7728

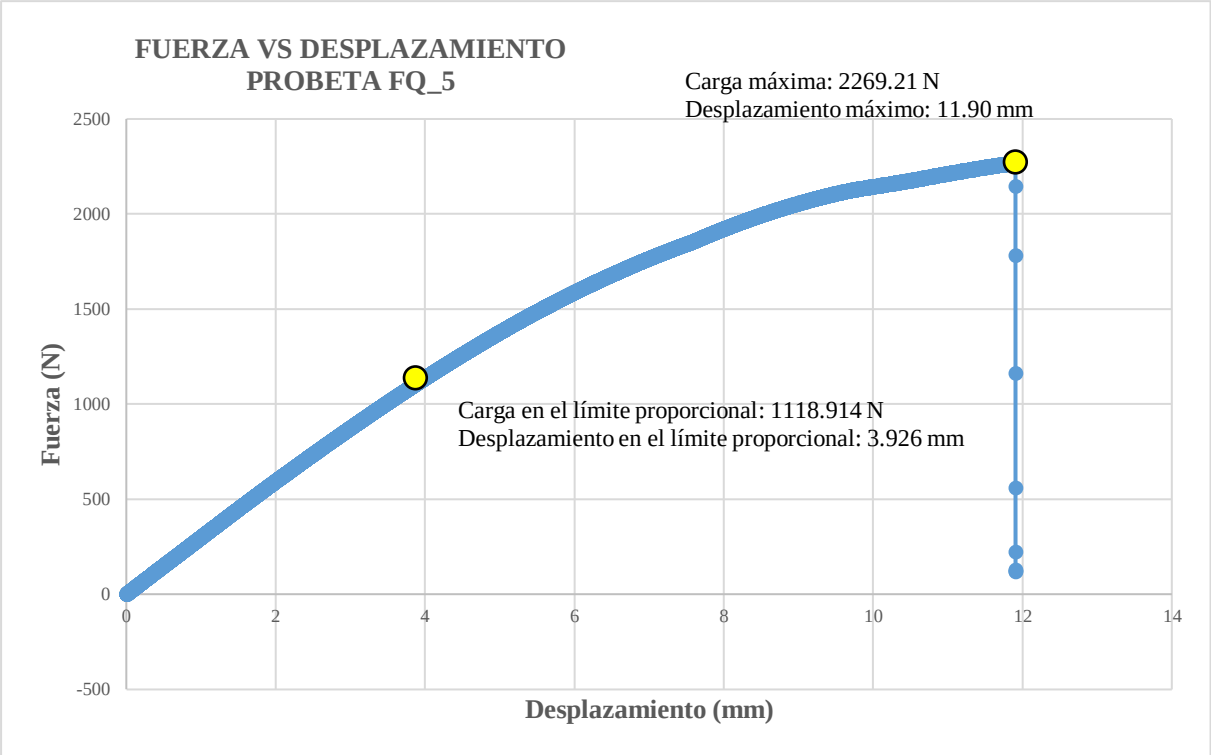
Los valores obtenidos de las Tablas XXII y XXIII, se obtuvieron por medio del ensayo de flexión paralela a la fibra con la ayuda de la máquina universal.



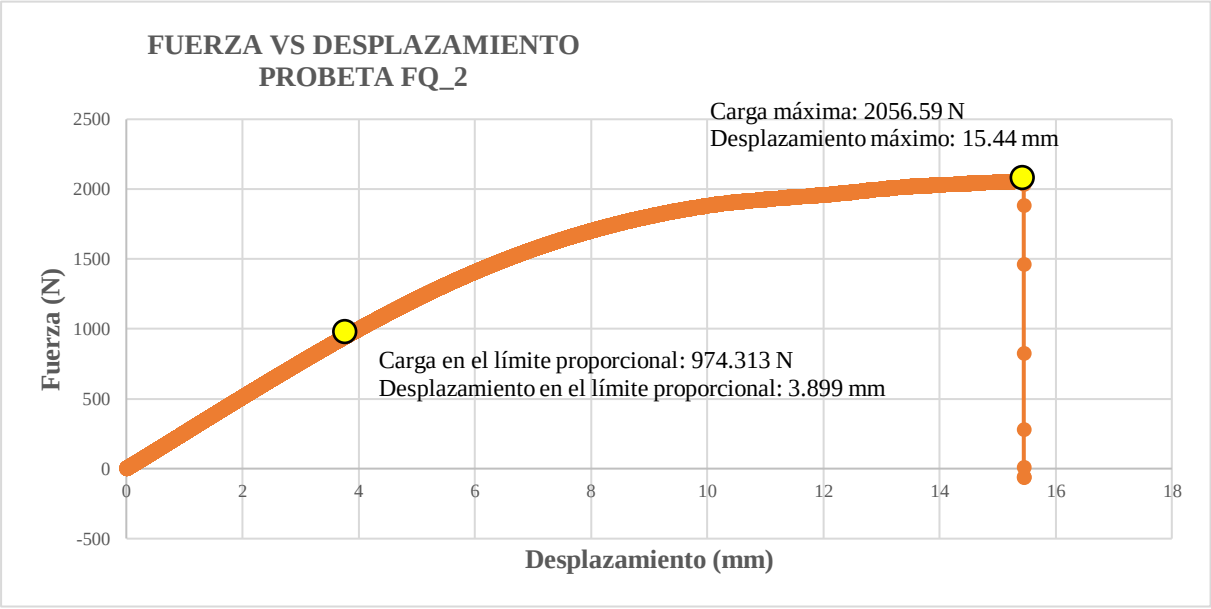
Gráfica IX Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra, Fuerza vs Desplazamiento de probetas FQ 1 – 5

Interpretación: Según la investigación sobre la factibilidad de la implementación del ciprés como elemento estructural realizada por Herrera, los ensayos de flexión en la madera de ciprés arrojaron un valor de fuerza máxima de 2.860 kN (o 2860 N) [20]. Este resultado es comparable con la fuerza máxima registrada en el presente ensayo, que fue de 2269.21 N, lo que demuestra una consistencia entre los datos y los resultados reportados en la Tabla XXV. Además, se tomaron como referencia los datos previamente obtenidos de los aserraderos Cárcel y Macasto, los cuales coinciden con los resultados obtenidos en el aserradero de Quero. Esto permitió validar los datos obtenidos y asegurar que no se descartara información relevante, contribuyendo a la robustez y confiabilidad del análisis

A continuación, en la Gráfica X, se presenta la relación entre la carga aplicada y la deflexión de la probeta FQ_5, que registró la resistencia máxima durante el ensayo. Por otro lado, en la Gráfica XI, se muestra la relación carga vs. deflexión de la probeta FQ_2, que obtuvo la resistencia mínima.



Gráfica X Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra, Fuerza vs Desplazamiento máximo de la probeta FQ_5



Gráfica XI Ensayo de Flexión perpendicular a la fibra, Fuerza vs Desplazamiento mínimo de la probeta FQ_2

TABLA XXIV

CARGA Y DEFLEXIÓN MÁXIMA, CARGA Y DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO – ASERRADERO QUERO

Muestra	**Carga máxima (N)**	**Deflexión en carga máxima (mm)**	**Carga en el límite proporcional (N)**	**Deflexión en el límite proporcional (mm)**
FQ - 1	2091.52	13.7607	1049.399	3.953
FQ - 2	2056.59	15.4493	974.313	3.899
FQ - 3	2188.64	11.8404	1086.418	3.929
FQ - 4	2060.93	13.049	940.497	3.919
FQ - 5	2269.21	11.9043	1118.914	3.926

TABLA XXV

ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO – ASERRADERO QUERO

Muestra	**Esfuerzo en el límite proporcional (MPa)**	**Resistencia máxima (MPa)**	**Módulo de elasticidad (MPa)**	**Esfuerzo admisible (MPa)**
FQ - 1	36.267	72.283	7926.862	22.628
FQ - 2	33.672	71.076	7461.613	22.250
FQ - 3	37.547	75.639	8256.622	23.678
FQ - 4	32.504	71.226	7165.882	22.297
FQ - 5	38.670	78.424	8510.085	24.550
Promedio	**35.732**	**73.730**	**7864.213**	**23.081**

El valor de esfuerzo en el límite proporcional, resistencia máxima, módulo de elasticidad y esfuerzo admisible, se obtuvieron aplicando las ecuaciones (Ec. 2 a la Ec. 5) respectivamente.

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de flexión perpendicular realizado a las probetas de madera de ciprés provenientes del Aserradero Quero, se determinaron dos parámetros importantes para evaluar su comportamiento mecánico. En primer lugar, se calculó un módulo de elasticidad promedio de 7864.21 MPa, el cual refleja la capacidad de la madera para resistir deformaciones bajo una carga aplicada.

Por otro lado, se obtuvo un esfuerzo admisible promedio de 23.08 MPa, que indica el límite máximo de tensión que la madera puede soportar de manera segura antes de alcanzar su punto de falla. Este parámetro es fundamental para diseñar estructuras que utilicen esta madera como material principal, ya que permite garantizar la seguridad y estabilidad de dichas estructuras.

- *Módulo de Elasticidad y Esfuerzo admisible*

Los resultados del ensayo de flexión perpendicular a la fibra realizado en las probetas de madera de ciprés del cantón Ambato Aserradero Cárcel revelaron un módulo de elasticidad de 6622.72 MPa, por otro lado, el Aserradero – Macasto un valor de 7165.87 Mpa, estos valores posicionan al material dentro del grupo "C" y finalmente la madera de ciprés del cantón Quero Aserradero Quero, un valor de 7864.21 Mpa, posicionándolo dentro del grupo "B" de la clasificación estructural de la madera, conforme a lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-MD) en su apartado sobre estructuras de madera.

TABLA XXVI
MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa)

Grupo	$E_{mín}(E_{0.05})$	$E_{promedio}$
"A"	9500	13000
"B"	7500	10000
"C"	5500	9000

Donde:

$E_{mín}$: Valor mínimo utilizado en el cálculo de elementos individuales, como columnas y vigas.

$E_{promedio}$: Valor promedio adecuado para el diseño de elementos que tengan una acción en conjunto, como viguetas y pie derechos.

Además, la madera se clasifica estructuralmente según sus esfuerzos admisibles según la Tabla XXVII. En el caso de la madera de ciprés de cantón Ambato Aserradero Cárcel, se obtuvo un esfuerzo admisible de 21.58 MPa, por otro lado, el Aserradero – Macasto un valor de 23.89 MPa y finalmente la madera de ciprés del cantón Quero Aserradero Quero, un valor de 23.08 MPa. Lo que indica que pertenecen al grupo estructural "A" para maderas estructurales.

TABLA XXVII
ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa)

Elemento / Grupo	Flexión	Tracción paralela	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte paralelo
"A"	21.00	14.50	14.50	4.00	1.50
"B"	15.00	10.50	11.00	2.80	1.20
"C"	10.00	7.50	8.00	1.50	0.80

- *Relación del Contenido de humedad y Módulo de Elasticidad*

La relación entre el contenido de humedad y el módulo de elasticidad de la madera de ciprés es directamente proporcional, lo que implica que a medida que el contenido de humedad disminuye, el módulo de elasticidad aumenta. Esto significa que la madera con menor contenido de humedad presenta una mayor resistencia a las deformaciones, mostrando así una mayor rigidez estructural.

En la Tabla XXVIII, se detallan los valores promedio del módulo de elasticidad obtenidos de los ensayos de flexión perpendicular a la fibra, junto con el contenido de humedad correspondiente en las muestras de madera de ciprés. Estos datos permiten evidenciar la influencia del contenido de humedad en el comportamiento mecánico del material.

TABLA XXVIII

MÓDULO DE ELASTICIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DE CIPRÉS

Cantón	**Módulo de elasticidad promedio (MPa)**	**Contenido de humedad (%)**
Ambato – Aserradero Cárcel	6622.72	15.3
Ambato – Aserradero Macasto	7165.87	12.3
Quero – Aserradero Quero	7864.21	14.8

En el caso de la madera de ciprés proveniente del cantón Quero – Aserradero Macasto, esta presentó un menor contenido de humedad, lo que resultó en un módulo de elasticidad más elevado. En contraste, la madera del cantón Ambato – Aserradero Cárcel, con un mayor contenido de humedad, mostró un módulo de elasticidad inferior.

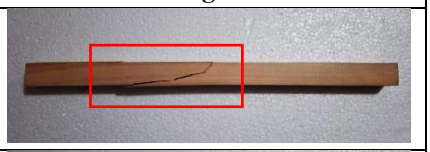
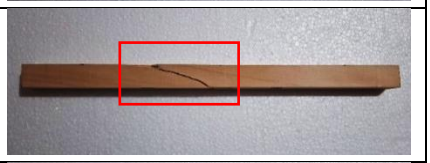
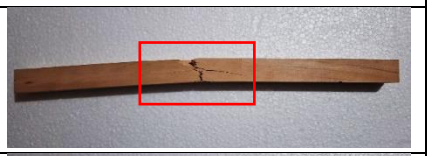
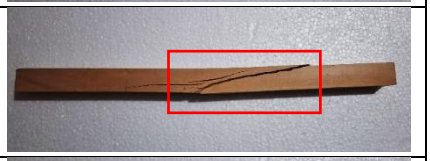
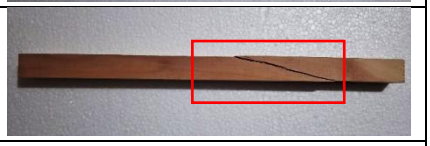
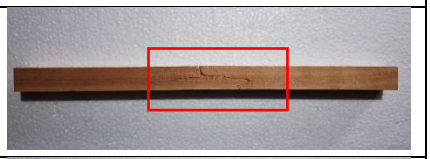
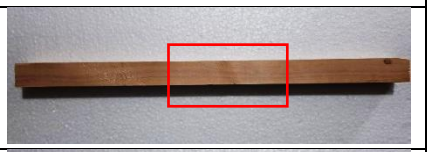
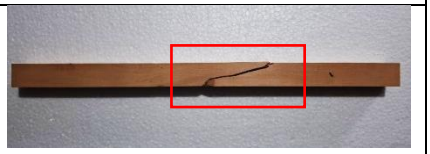
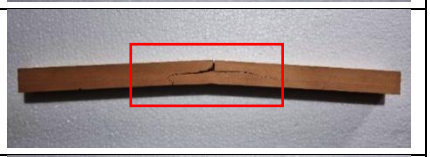
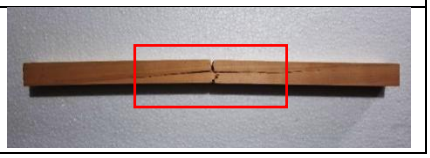
Por otro lado, las fallas observadas en las probetas de madera de ciprés sometidas al ensayo de flexión perpendicular a la fibra fueron las siguientes:

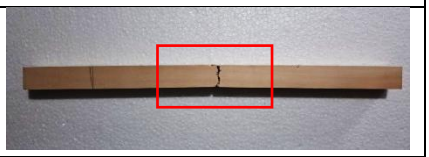
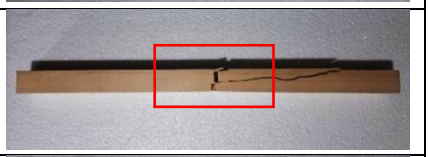
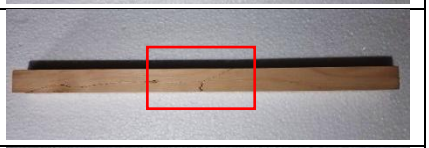
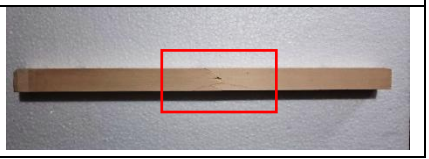
a) Tensión simple
b) Tensión transversal a la fibra
c) Tensión de astilla fila
d) Tensión abrupta

La Tabla XXIX detalla los tipos de fallas identificadas en cada probeta evaluada en flexión, junto con fotografías que ilustran los daños ocasionados según el origen de cada aserradero.

TABLA XXIX

TIPOS DE FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE CIPRÉS POR EL ENSAYO A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Cantón Ambato – Aserradero Cárcel		
Probeta	**Tipo de falla**	**Fotografía**
FC-1	b) Tensión transversal a la fibra	
FC-2	b) Tensión transversal a la fibra	
FC-3	d) Tensión abrupta	
FC-4	b) Tensión transversal a la fibra	
FC-5	b) Tensión transversal a la fibra	
Cantón Ambato – Aserradero Macasto		
FM-1	a) Tensión Simple	
FM-2	b) Tensión transversal a la fibra	
FM-3	b) Tensión transversal a la fibra	
FM-4	a) Tensión Simple	
FM-5	d) Tensión abrupta	

Cantón Quero– Aserradero Quero		
FQ-1	d) Tensión abrupta	
FQ-2	d) Tensión abrupta	
FQ-3	b) Tensión transversal a la fibra	
FQ-4	a) Tensión Simple	
FQ-5	c) Tensión de astilla fila	

2. Tracción paralela a la fibra

A continuación, se presentan, las gráficas y dos tablas que resumen los resultados obtenidos del ensayo de tracción paralela a la fibra realizado en la madera de ciprés en los aserraderos de Ambato (Aserradero Cárcel y Macasto) y Quero.

La primera tabla detalla las cargas aplicadas, desplazamientos, tensiones y deformaciones máximas observadas en cada muestra. Por su parte, la segunda tabla muestra el valor máximo de rotura por fuerza y tensión. Por otro lado, la primera gráfica representa el Esfuerzo vs Deformación unitaria de las probetas ensayadas, por otro lado,

a) Ambato – Aserradero Cárcel

TABLA XXX

CARGA, DESPLAZAMIENTO, TENSIÓN Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO - CÁRCEL

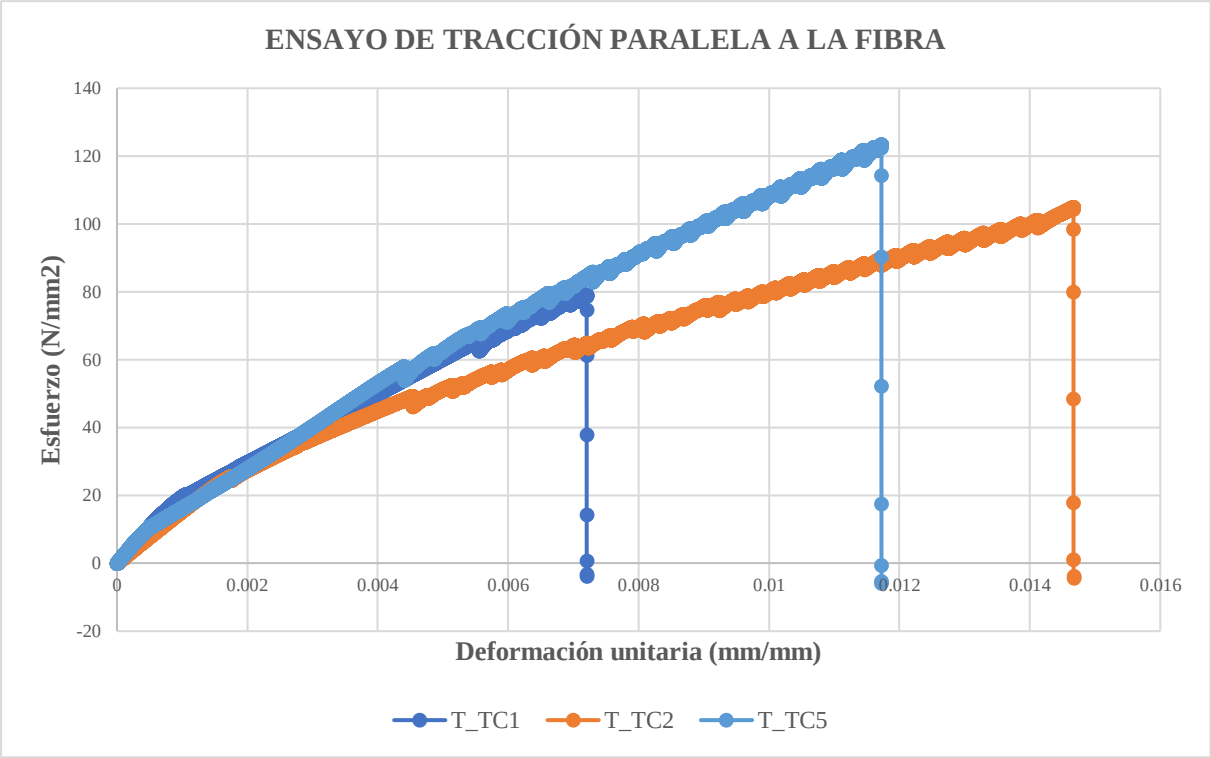
Muestra	**Carga máxima (N)**	**Desplazamiento máximo (mm)**	**Tensión máxima (MPa)**	**Deformación máxima (%)**	**Disposición**
TC – 1	3201.29	2.59281	79.0441	0.71036	
TC – 2	4248.89	5.28088	104.911	1.44682	
TC – 3	2746.54	3.54616	67.8159	0.97155	Descartado
TC – 4	2266.46	2.81732	55.9620	0.77187	Descartado
TC – 5	4998.84	4.22049	123.428	1.15630	

TABLA XXXI

ROTURA FUERZA Y TENSIÓN DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO - CÁRCEL

Muestra	**Rotura_Fuerza (N)**	**Rotura_Tensión (MPa)**
TC – 1	3201.29	79.0441
TC – 2	4248.89	104.911
TC – 3	2745.80	67.7976
TC – 4	2265.80	55.9456
TC – 5	4998.84	123.428

Los valores obtenidos de las Tablas XXX y XXXI, se obtuvieron por medio del ensayo de tracción paralela a la fibra con la ayuda de la máquina universal.



Gráfica XII Ensayo de Tracción paralela a la fibra, Esfuerzo vs Deformación unitaria de probetas TC 1, 2, 5

TABLA XXXII

CARGA Y DEFLEXIÓN MÁXIMA, CARGA Y DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO CÁRCEL

Muestra	Carga máxima (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
TC - 1	3201.29	79.04	7.20E-03	2581.67	37.64
TC – 2	4248.89	104.91	1.46E-02	1574.86	49.96
TC - 5	4998.84	123.43	1.17E-02	856.67	58.78
Promedio	**4149.67**	**102.46**	**1.12E-02**	**1671.07**	**48.79**

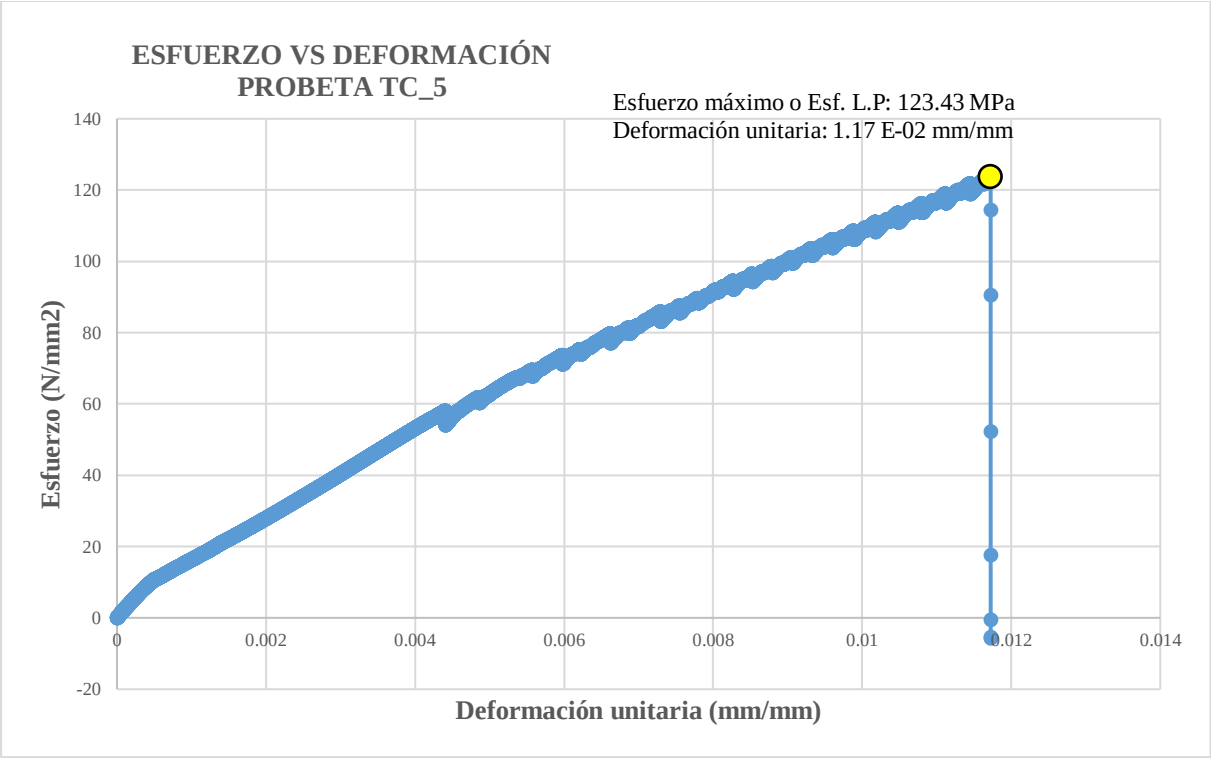
El valor de resistencia a la tracción, tensión en el límite proporcional, módulo de elasticidad y esfuerzo admisible, se obtuvieron aplicando las ecuaciones (Ec. 6 a la Ec. 9) respectivamente.

Interpretación: La fuerza máxima registrada en el presente ensayo, fue de 4998.84 N, lo que demuestra una consistencia entre los demás datos y los resultados reportados en la Tabla XXXII. Además, esta consistencia explica la decisión de descartar las probetas TC_3 y TC_4, posiblemente debido a valores atípicos o discrepancias significativas en su desempeño.

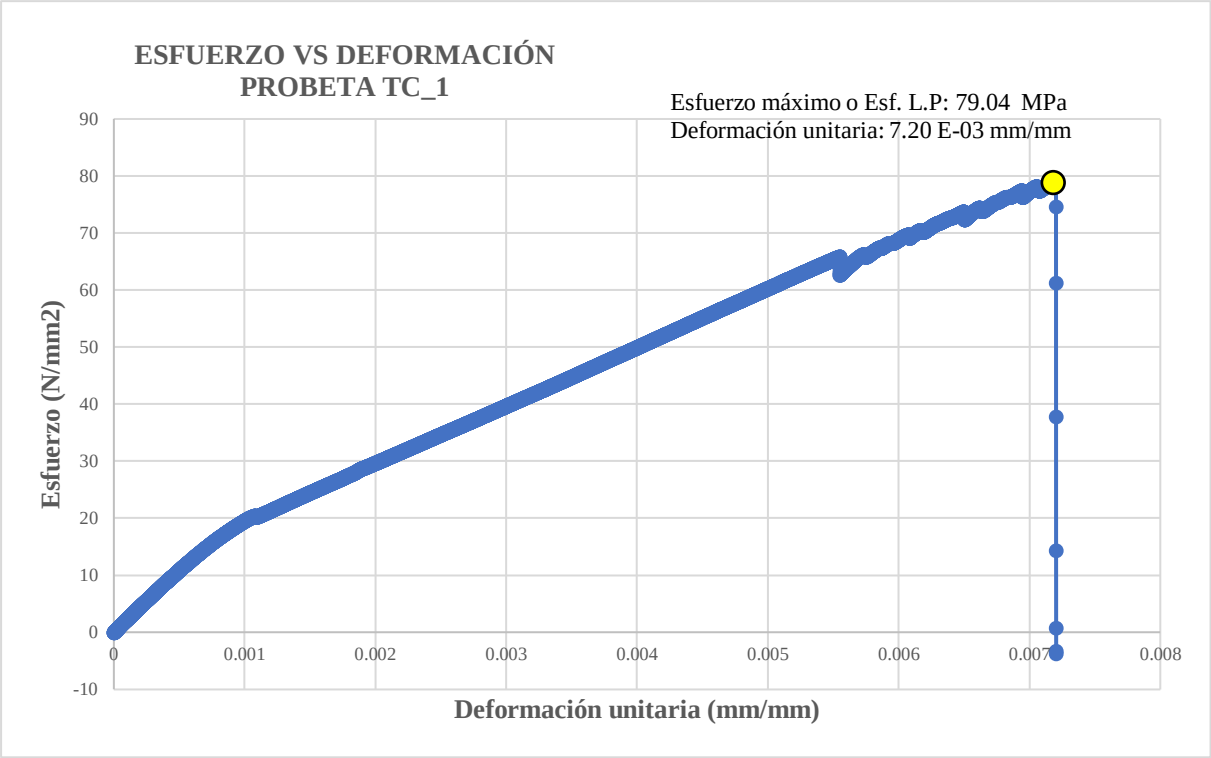
Del ensayo de tracción paralela a la fibra realizado a probetas de madera de ciprés provenientes del Aserradero Ambato – Cárcel. En este análisis, se determinó que la resistencia

máxima a la tracción fue de 123.43 MPa, indicando la capacidad superior del material para soportar esfuerzos antes de alcanzar su punto de falla. Por otro lado, la resistencia mínima fue de 79.04 MPa, valor que representa las condiciones menos favorables del material, probablemente atribuibles a factores como defectos estructurales, orientación de la fibra o variaciones naturales en la madera.

El módulo de elasticidad promedio fue de 1837.75 MPa, lo que refleja la rigidez del material frente a deformaciones bajo carga, valor para evaluar la capacidad del ciprés de recuperar su forma inicial una vez que se retira la carga. Por otro lado, el esfuerzo admisible promedio fue de 48.79 MPa, un valor que representa la carga máxima que el material puede soportar de manera segura, sin riesgo de fallas permanentes.



Gráfica XIII Ensayo de Tracción paralela a la fibra, Esfuerzo vs Deformación unitaria máxima de la probeta TC_5



Gráfica XIV Ensayo de Tracción paralela a la fibra, Esfuerzo vs Deformación unitaria mínima de la probeta TC_1

Interpretación: En la Gráfica XIII, se presenta la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria de la probeta FQ_5, la cual alcanzó el esfuerzo máximo durante el ensayo. Por otro lado, en la Gráfica XIV, se muestra la relación esfuerzo vs. deformación unitaria para la probeta FQ_1, que registró el esfuerzo mínimo. Este resultado refleja el límite inferior del desempeño del material y pone en evidencia las variaciones inherentes en las propiedades mecánicas de la madera, atribuidas a factores como anisotropía y heterogeneidad estructural.

b) Ambato – Aserradero Macasto

TABLA XXXIII

CARGA, DESPLAZAMIENTO, TENSIÓN Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – MACASTO

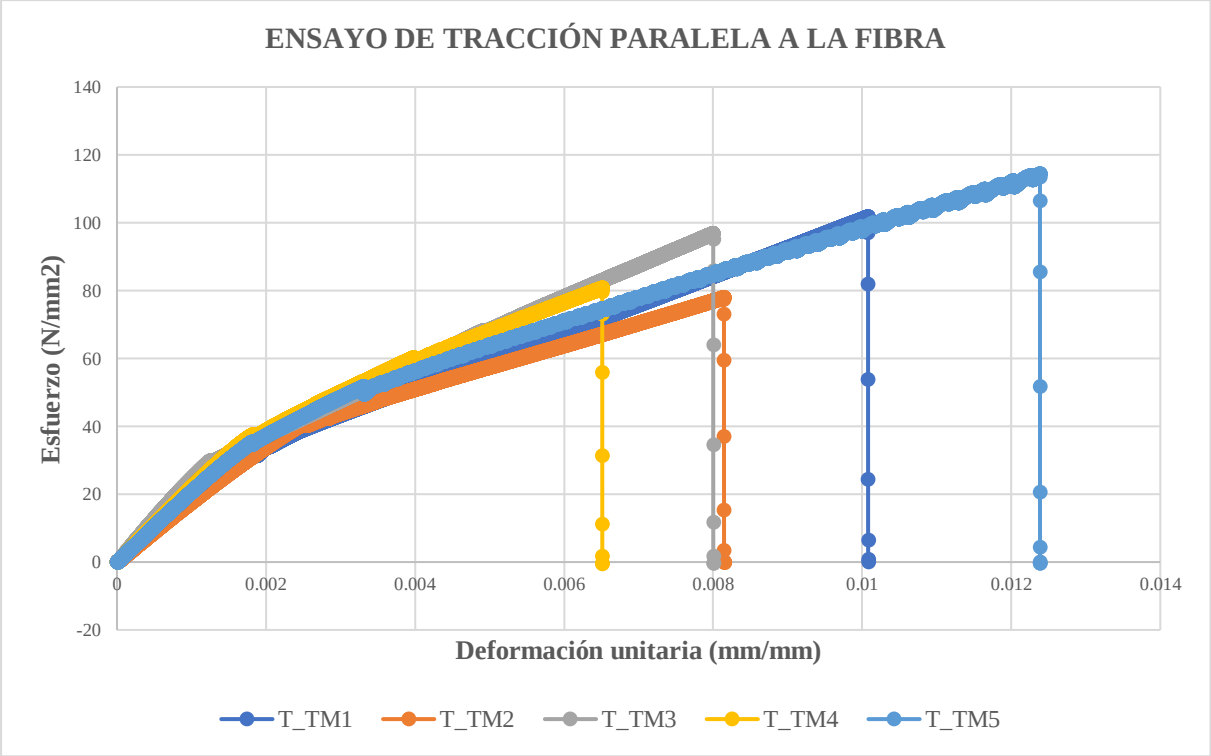
Muestra	Carga máxima (N)	Desplazamiento máximo (mm)	Tensión máxima (MPa)	Deformación máxima (%)
TM – 1	4119.63	3.62811	101.719	0.99400
TM – 2	3155.25	2.93216	77.9074	0.80333
TM – 3	3921.95	2.87982	96.8384	0.78899
TM – 4	3269.23	2.34366	80.7217	0.64210
TM – 5	4631.75	4.45831	114.364	1.22146

TABLA XXXIV

ROTURA FUERZA Y TENSIÓN DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – MACASTO

Muestra	Rotura_Fuerza (N)	Rotura_Tensión (MPa)
TM – 1	4119.63	101.719
TM – 2	3155.25	77.9074
TM – 3	3921.95	96.8384
TM – 4	3269.23	80.7217
TM – 5	4631.75	114.364

Los valores obtenidos de las Tablas XXXIII y XXXIV, se obtuvieron por medio del ensayo de tracción paralela a la fibra con la ayuda de la máquina universal.



Gráfica XV Ensayo de Tracción paralela a la fibra, Esfuerzo vs Deformación unitaria de probetas TM 1 – 5

TABLA XXXV

CARGA Y DEFLEXIÓN MÁXIMA, CARGA Y DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL DE LA MADERA DE CIPRÉS DE AMBATO – ASERRADERO MACASTO

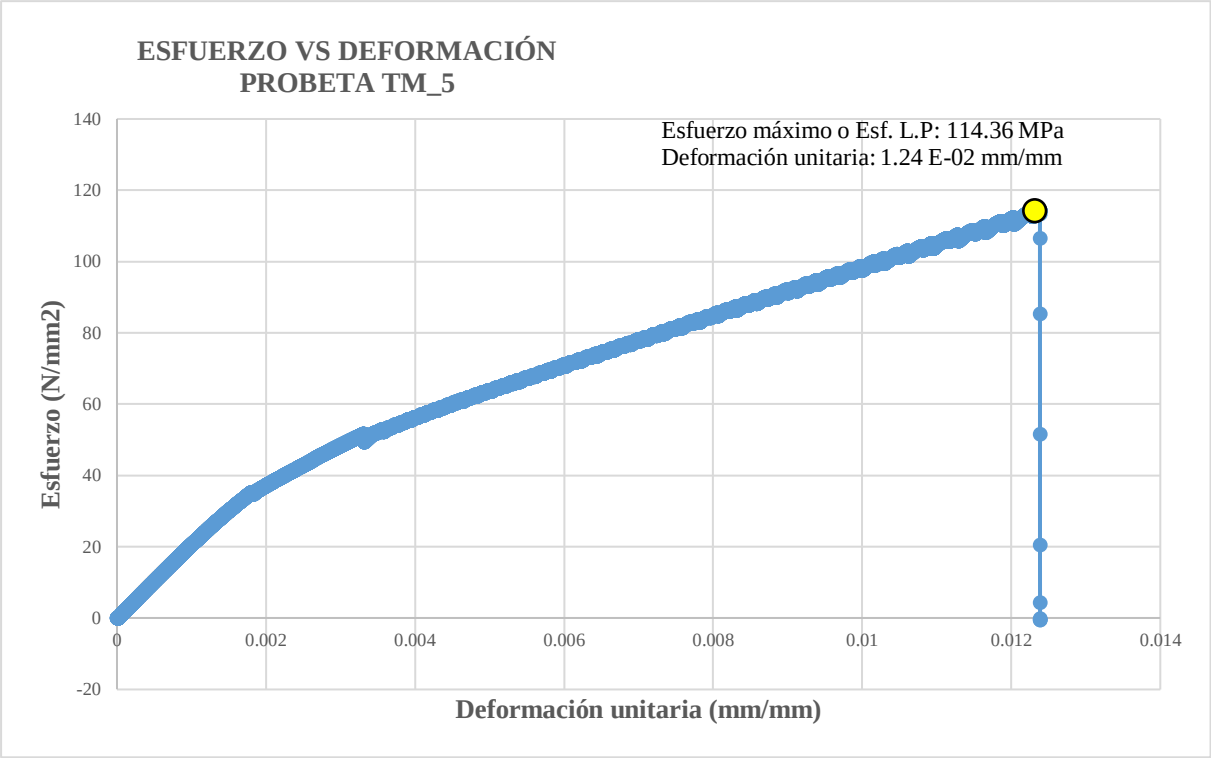
Muestra	Carga máxima (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
TM – 1	4119.63	101.72	1.01E-02	1502.97	48.44
TM – 2	3155.25	77.91	8.10E-03	2017.53	37.10
TM – 3	3921.95	96.84	8.00E-03	2083.13	46.11
TM – 4	3269.23	80.72	6.50E-03	2667.72	38.44
TM – 5	4631.75	114.36	1.24E-02	1720.89	54.46
Promedio	**3819.56**	**94.31**	**9.02E-03**	**1998.45**	**44.91**

El valor de resistencia a la tracción, tensión en el límite proporcional, módulo de elasticidad y esfuerzo admisible, se obtuvieron aplicando las ecuaciones (Ec. 6 a la Ec. 9) respectivamente.

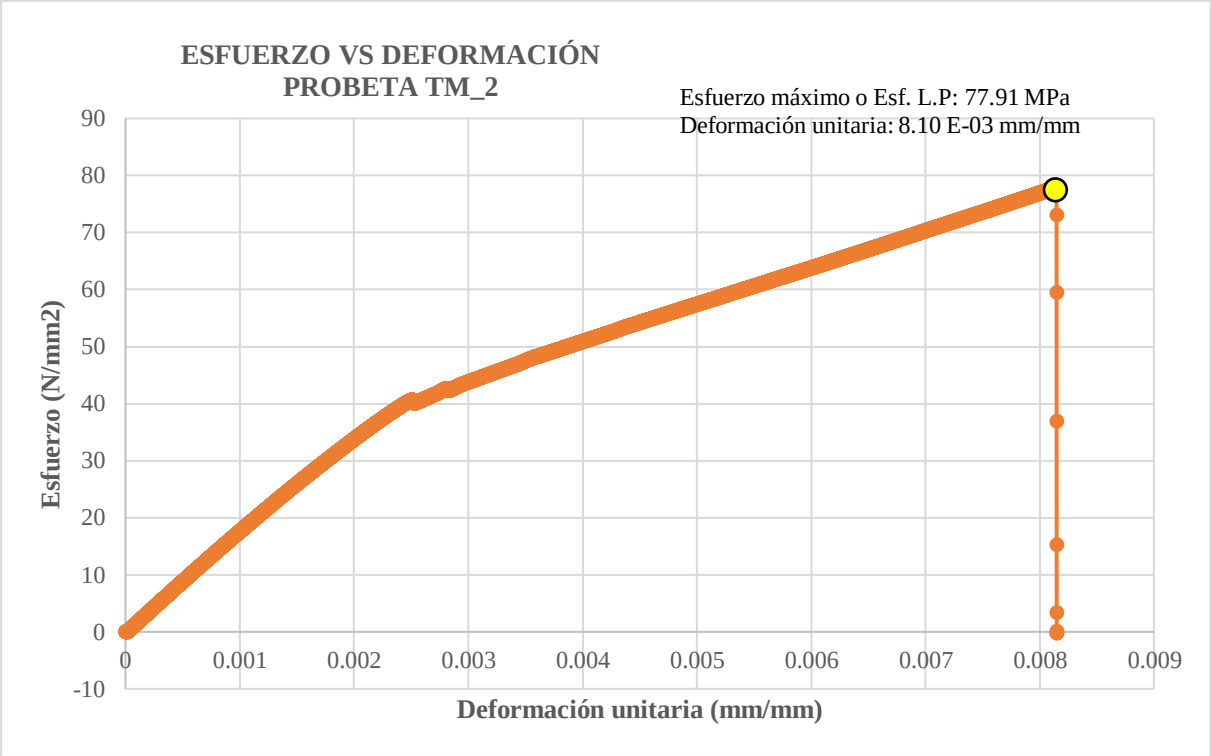
Interpretación: La fuerza máxima registrada en el presente ensayo, fue de 4631.75 N perteneciente a la probeta TM_5, lo que demuestra una consistencia entre los demás datos y los resultados reportados en la Tabla XXXV.

Del ensayo de tracción paralela a la fibra realizado a probetas de madera de ciprés provenientes del Aserradero Ambato – Macasto. En este análisis, se determinó que la resistencia máxima a la tracción fue de 114.36 MPa, indicando la capacidad superior del material para soportar esfuerzos antes de alcanzar su punto de falla. Por otro lado, la resistencia mínima fue de 77.91 MPa, valor que representa las condiciones menos favorables del material, probablemente atribuibles a factores como defectos estructurales, orientación de la fibra o variaciones naturales en la madera.

El módulo de elasticidad promedio fue de 1856.12 MPa, lo que refleja la rigidez del material frente a deformaciones bajo carga, valor para evaluar la capacidad del ciprés de recuperar su forma inicial una vez que se retira la carga. Por otro lado, el esfuerzo admisible promedio fue de 44.91 MPa, un valor que representa la carga máxima que el material puede soportar de manera segura, sin riesgo de fallas permanentes.



Gráfica XVI Ensayo de Tracción paralela a la fibra, Esfuerzo vs Deformación unitaria máxima de la probeta TM_5



Gráfica XVII Ensayo de Tracción paralela a la fibra, Esfuerzo vs Deformación unitaria mínima de la probeta TM_2

Interpretación: En la Gráfica XVI, se presenta la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria de la probeta FQ_5, la cual alcanzó el esfuerzo máximo durante el ensayo. Por otro lado, en la Gráfica XVII, se muestra la relación esfuerzo vs. deformación unitaria para la probeta FQ_2, que registró el esfuerzo mínimo. Este resultado refleja el límite inferior del desempeño del material y pone en evidencia las variaciones inherentes en las propiedades mecánicas de la madera, atribuidas a factores como anisotropía y heterogeneidad estructural.

c) Quero – Aserradero Quero

TABLA XXXVI

CARGA, DESPLAZAMIENTO, TENSIÓN Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO

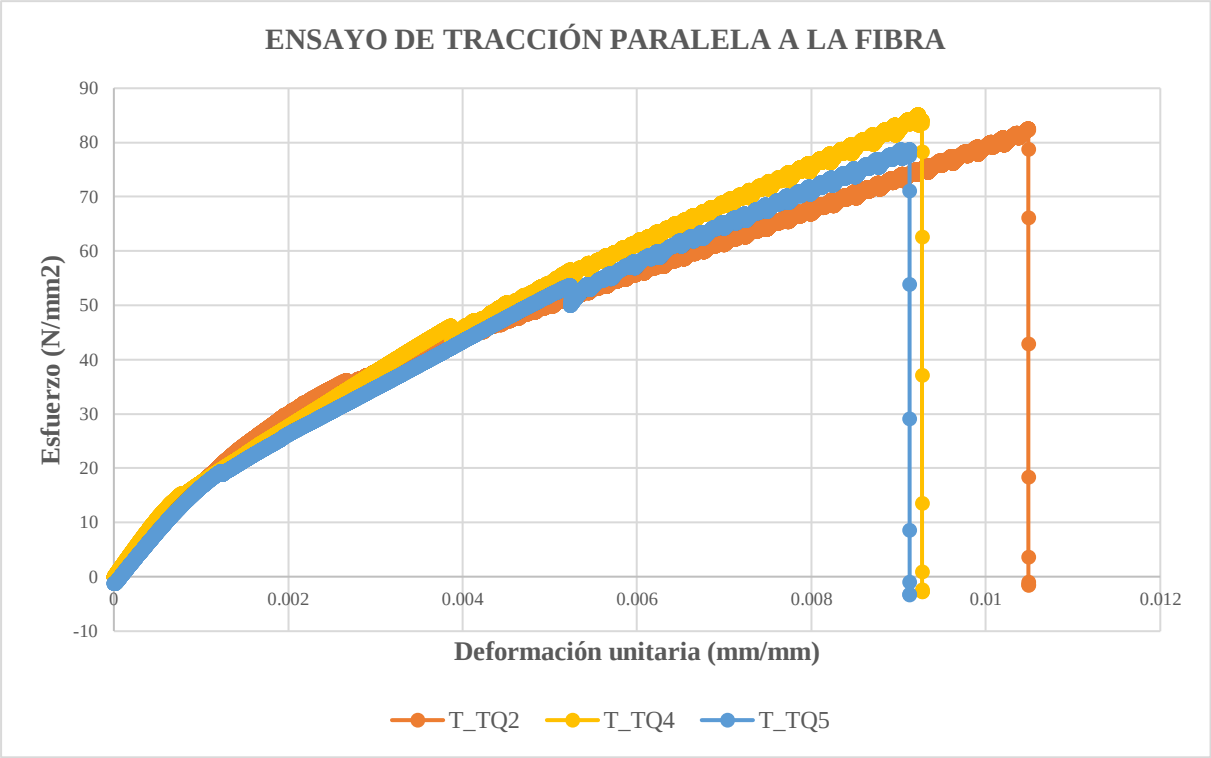
Muestra	Carga máxima (N)	Desplazamiento máximo (mm)	Tensión máxima (MPa)	Deformación máxima (%)	Disposición
TQ – 1	5072.51	5.72633	125.247	1.56886	Descartado
TQ – 2	3344.71	3.77494	82.5855	1.03423	
TQ – 3	2783.80	2.40168	68.7358	0.65799	Descartado
TQ – 4	3449.14	3.32017	85.1639	0.90964	
TQ – 5	3188.55	3.28448	78.7297	0.89986	

TABLA XXXVII

ROTURA FUERZA Y TENSIÓN DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO

Muestra	Rotura_Fuerza (N)	Rotura_Tensión (MPa)
TQ – 1	5040.28	124.451
TQ – 2	3344.71	82.5855
TQ – 3	2783.80	68.7358
TQ – 4	3407.43	84.1341
TQ – 5	3188.55	78.7297

Los valores obtenidos de las Tablas XXXVI y XXXVII, se obtuvieron por medio del ensayo de tracción paralela a la fibra con la ayuda de la máquina universal.



Gráfica XVIII Ensayo de Tracción paralela a la fibra, Fuerza vs Desplazamiento de probetas TQ 2, 4, 5

TABLA XXXVIII

CARGA Y DEFLEXIÓN MÁXIMA, CARGA Y DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL DE LA MADERA DE CIPRÉS DE QUERO – ASERRADERO QUERO

Muestra	Carga máxima (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
TQ – 2	3344.71	82.59	1.05E-02	2193.74	39.33
TQ – 4	3449.14	85.16	9.30E-03	1459.67	40.55
TQ – 5	3188.55	78.73	9.10E-03	2002.95	37.49
Promedio	**3327.47**	**82.16**	**9.63E-03**	**1885.45**	**39.12**

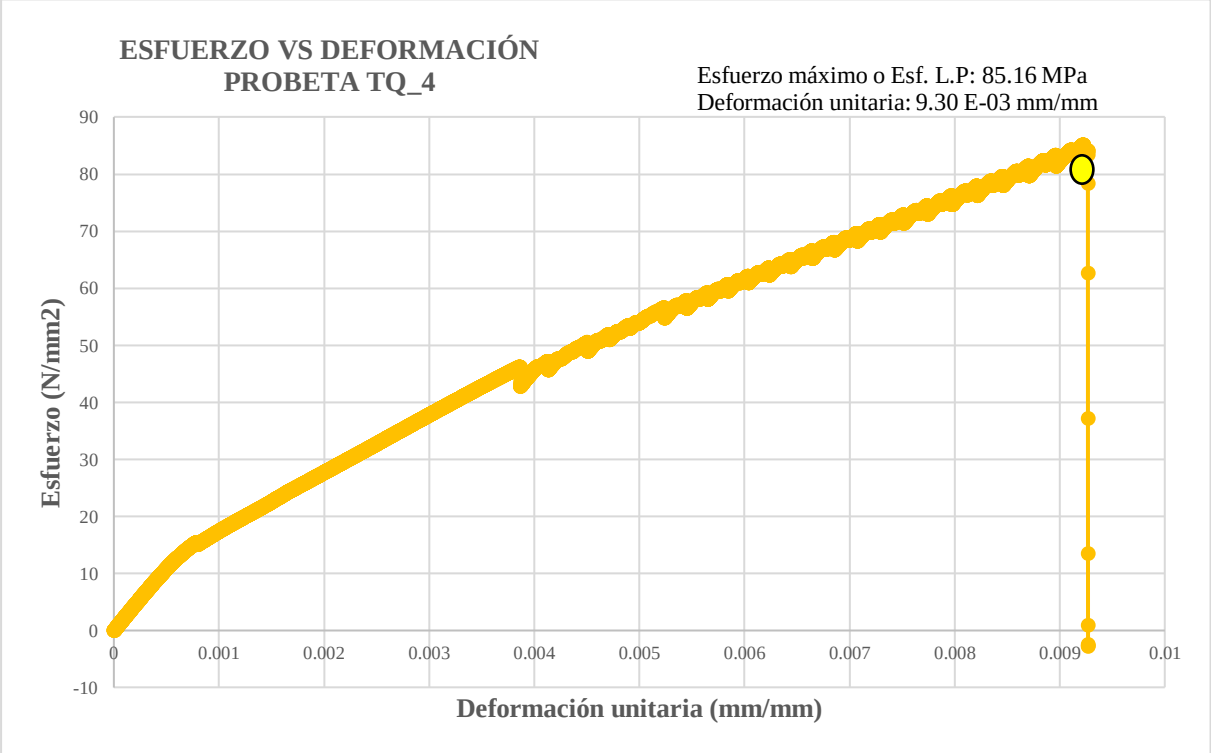
El valor de resistencia a la tracción, tensión en el límite proporcional, módulo de elasticidad y esfuerzo admisible, se obtuvieron aplicando las ecuaciones (Ec. 6 – Ec. 9) respectivamente.

Interpretación: La fuerza máxima registrada en el presente ensayo, fue de 3449.14 N perteneciente a la probeta TQ_4, a lo que demuestra una consistencia entre los demás datos y los resultados reportados en la Tabla XXXVIII. Además, se tomaron como referencia los datos previamente obtenidos de los aserraderos Cárcel y Macasto, los cuales coinciden con los resultados obtenidos en el aserradero de Quero. Esto permitió validar los datos obtenidos y asegurar que no se descartara información relevante, contribuyendo a la robustez y

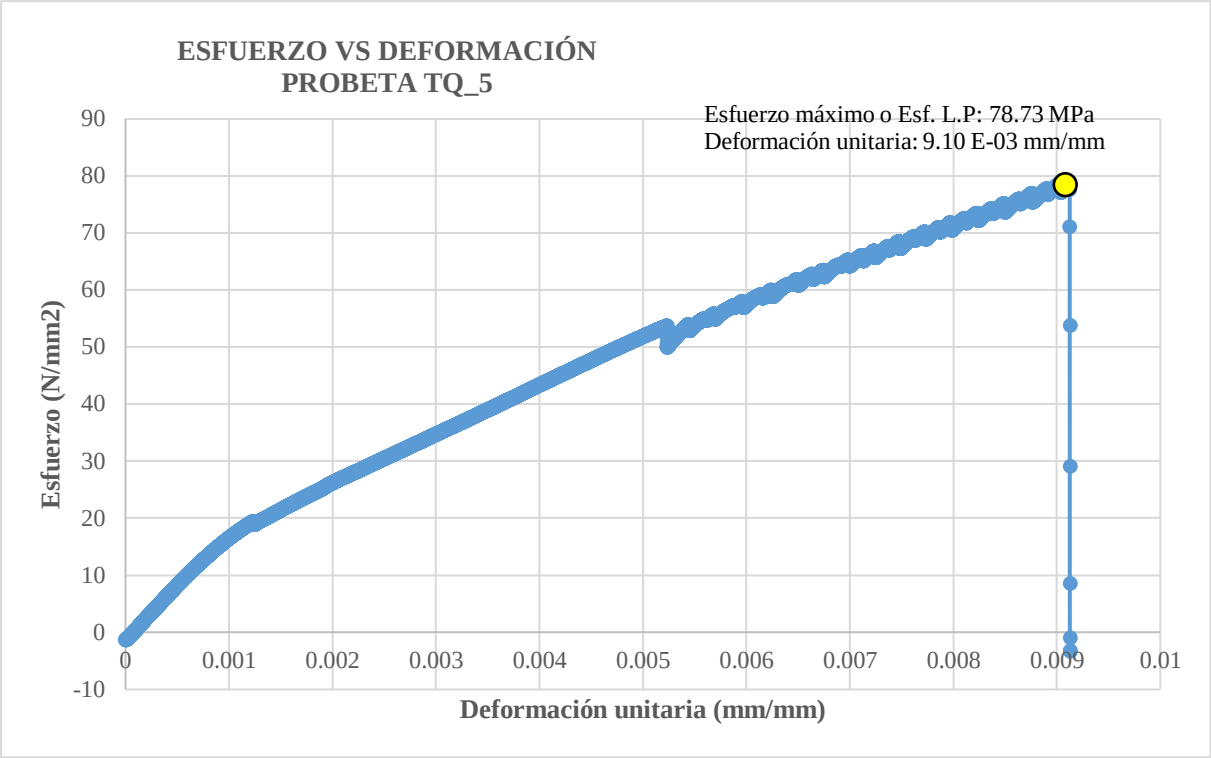
confiabilidad del análisis. Es así que, esta consistencia explica la decisión de descartar las probetas TQ_1 y TQ_3, posiblemente debido a valores atípicos o discrepancias significativas en su desempeño.

Del ensayo de tracción paralela a la fibra realizado a probetas de madera de ciprés provenientes del Aserradero Quero. En este análisis, se determinó que la resistencia máxima a la tracción fue de 85.16 MPa, indicando la capacidad superior del material para soportar esfuerzos antes de alcanzar su punto de falla. Por otro lado, la resistencia mínima fue de 78.73 MPa, valor que representa las condiciones menos favorables del material, probablemente atribuibles a factores como defectos estructurales, orientación de la fibra o variaciones naturales en la madera.

El módulo de elasticidad promedio fue de 1952.85 MPa, lo que refleja la rigidez del material frente a deformaciones bajo carga, valor para evaluar la capacidad del ciprés de recuperar su forma inicial una vez que se retira la carga. Por otro lado, el esfuerzo admisible promedio fue de 39.12 MPa, un valor que representa la carga máxima que el material puede soportar de manera segura, sin riesgo de fallas permanentes.



Gráfica XIX Ensayo de Tracción paralela a la fibra, Esfuerzo vs Deformación unitaria máxima de la probeta TQ_4



Gráfica XX Ensayo de Tracción paralela a la fibra, Esfuerzo vs Deformación unitaria mínima de la probeta TQ_5

Interpretación: En la Gráfica XIX, se presenta la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria de la probeta TQ_4, la cual alcanzó el esfuerzo máximo durante el ensayo. Por otro lado, en la Gráfica XX, se muestra la relación esfuerzo vs. deformación unitaria para la probeta TQ_5, que registró el esfuerzo mínimo. Este resultado refleja el límite inferior del desempeño del material y pone en evidencia las variaciones inherentes en las propiedades mecánicas de la madera, atribuidas a factores como anisotropía y heterogeneidad estructural.

- *Módulo de Elasticidad y Esfuerzo Admisible*

Los resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra realizado en las probetas de madera de ciprés del cantón Ambato Aserradero Cárcel revelaron un módulo de elasticidad de 1671.07 MPa, por otro lado, el Aserradero – Macasto un valor de 1998.45 MPa y finalmente la madera de ciprés del cantón Quero Aserradero Quero, un valor de 1885.45 MPa.

Por lo tanto, estos valores no cumplen con los criterios para ser clasificados dentro de ninguno de los grupos estructurales establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015, NEC-SE-MD). Esta característica sugiere que, bajo este tipo de esfuerzo, la madera de ciprés no presenta un desempeño adecuado para aplicaciones estructurales exigidas por dicha normativa.

TABLA XXXIX
MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa)

Grupo	$E_{mín}(E_{0.05})$	$E_{promedio}$
"A"	9500	13000
"B"	7500	10000
"C"	5500	9000

Donde:

$E_{mín}$: Valor mínimo utilizado en el cálculo de elementos individuales, como columnas y vigas.

$E_{promedio}$: Valor promedio adecuado para el diseño de elementos que tengan una acción en conjunto, como viguetas y pie derechos.

Además, la madera se clasifica estructuralmente según sus esfuerzos admisibles. En el caso de la madera de ciprés de cantón Ambato Aserradero Cárcel, se obtuvo un esfuerzo admisible de 48.79 MPa, por otro lado, el Aserradero – Macasto un valor de 44.91 MPa y finalmente la madera de ciprés del cantón Quero Aserradero Quero, un valor de 39.12 MPa. Lo que indica que no pertenecen a ningún grupo estructural, ya que supera los valores máximos permitidos para maderas estructurales.

TABLA XL
ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa)

Elemento / Grupo	Flexión	Tracción paralela	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte paralelo
"A"	21.00	14.50	14.50	4.00	1.50
"B"	15.00	10.50	11.00	2.80	1.20
"C"	10.00	7.50	8.00	1.50	0.80

- *Relación del Contenido de humedad y Módulo de Elasticidad*

La relación entre el contenido de humedad y el módulo de elasticidad de la madera de ciprés es directamente proporcional, lo que implica que a medida que el contenido de humedad disminuye, el módulo de elasticidad aumenta. Esto significa que la madera con menor contenido de humedad presenta una mayor resistencia a las deformaciones, mostrando así una mayor rigidez estructural.

En la Tabla XLI, se detallan los valores promedio del módulo de elasticidad obtenidos de los ensayos de flexión perpendicular a la fibra, junto con el contenido de humedad

correspondiente en las muestras de madera de ciprés. Estos datos permiten evidenciar la influencia del contenido de humedad en el comportamiento mecánico del material.

TABLA XLI

MÓDULO DE ELASTICIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DE CIPRÉS

Cantón	**Módulo de elasticidad promedio (MPa)**	**Contenido de humedad (%)**
Ambato – Aserradero Cárcel	1671.07	15.3
Ambato – Aserradero Macasto	1998.45	12.3
Quero – Aserradero Quero	1885.45	14.8

En el caso de la madera de ciprés proveniente del cantón Ambato – Aserradero Macasto, esta presentó un menor contenido de humedad, lo que resultó en un módulo de elasticidad más elevado. En contraste, la madera del cantón Ambato – Aserradero Cárcel, con un mayor contenido de humedad, mostró un módulo de elasticidad inferior.

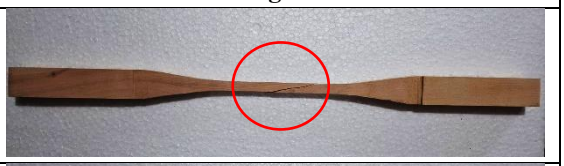
Por otro lado, las fallas observadas en las probetas de madera de ciprés sometidas al ensayo de tracción paralela a la fibra fueron las siguientes:

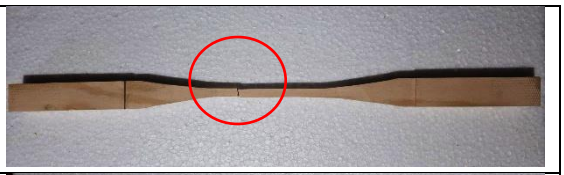
a) Tensión cortante
b) Tensión frágil

La Tabla XLII detalla los tipos de fallas identificadas en cada probeta evaluada en flexión, junto con fotografías que ilustran los daños ocasionados según el origen de cada aserradero.

TABLA XLII

TIPOS DE FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE CIPRÉS POR EL ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

Cantón Ambato – Aserradero Cárcel		
Probeta	**Tipo de falla**	**Fotografía**
TC-1	c) Tensión cortante	
TC-2	d) Tensión frágil	
TC-3	d) Tensión frágil	
TC-4	c) Tensión cortante	
TC-5	d) Tensión frágil	
Cantón Ambato – Aserradero Macasto		
TM-1	c) Tensión cortante	
TM-2	c) Tensión cortante	
TM-3	c) Tensión cortante	
TM-4	c) Tensión cortante	
TM-5	d) Tensión frágil	
Cantón Quero – Aserradero Quero		

TQ-1	d) Tensión frágil	
TQ-2	c) Tensión cortante	
TQ-3	d) Tensión frágil	
TQ-4	c) Tensión cortante	
TQ-5	c) Tensión cortante	

III. FASE 3

A. ANÁLISIS COMPARATIVO

En cuanto a los resultados obtenidos sobre las propiedades mecánicas de la madera de ciprés, se llevó a cabo un análisis comparativo basado en los módulos de elasticidad y los esfuerzos admisibles promedios correspondientes a cada cantón.

1. Flexión perpendicular a la fibra

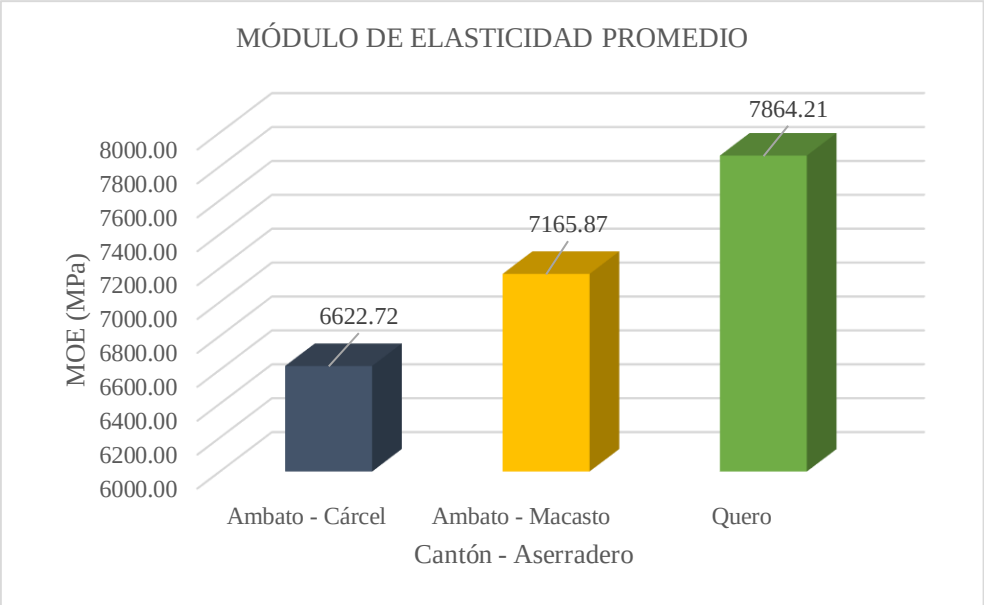
La Tabla XLIII presenta los valores del módulo de elasticidad y los esfuerzos admisibles correspondientes a cada aserradero, obtenidos a partir del ensayo de flexión perpendicular a la fibra.

TABLA XLIII
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE CIPRÉS SOMETIDA A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA (MPa)

Cantón	Módulo de elasticidad promedio (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
Ambato – Aserradero Cárcel	6622.72	21.58
Ambato – Aserradero Macasto	7165.87	23.89
Quero – Aserradero Quero	7864.21	23.08

Interpretación: Según los resultados obtenidos, el módulo de elasticidad de la madera del Aserradero Cárcel 6622.72 Mpa y del Aserradero Macasto 7165.87 Mpa cumplen el requisito para el Grupo C (5500 MPa), mientras que el Aserradero Quero 7864.21 MPa alcanza los valores mínimos para el Grupo B (7500 MPa).

En el caso de la madera de ciprés proveniente del cantón Quero – Aserradero Quero, esta presentó un módulo de elasticidad más elevado. En contraste, la madera del cantón Ambato – Aserradero Cárcel mostró un módulo de elasticidad inferior.

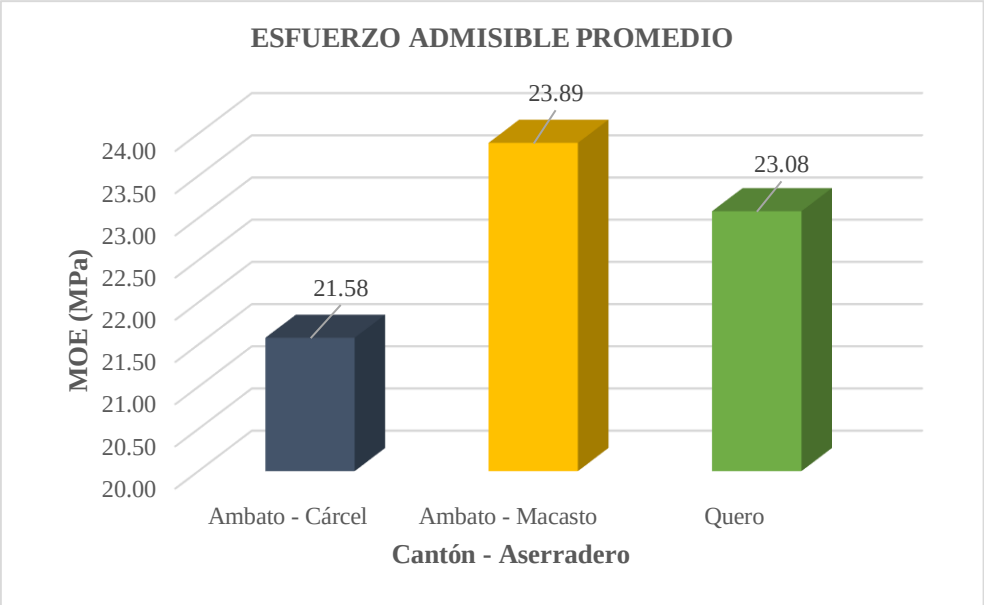


Gráfica XXI Módulo de elasticidad promedio probetas ensayadas a flexión

Esto indica que la madera de los aserraderos Cárcel y Macasto con valores entre 6622.72 MPa y 7165.87 MPa, esta madera es apta para estructuras secundarias y elementos no sometidos a cargas elevadas, como revestimientos, vigas ligeras y paneles divisorios. Su resistencia es suficiente para construcciones de baja exigencia estructural. En cuanto la madera del aserradero Quero con módulo de elasticidad de 7864.21 MPa, esta madera presenta mejores propiedades mecánicas, permitiendo su uso en elementos estructurales principales, como vigas, columnas y cerchas en edificaciones de mayor envergadura. Su capacidad de carga la hace adecuada para aplicaciones que requieren mayor estabilidad y resistencia.

Por otro lado, ninguno de los tres aserraderos alcanza los valores promedio establecidos para los grupos A, B o C según la NEC (mínimo requerido para el Grupo C: 9000 MPa).

Finalmente, el esfuerzo admisible de la madera del Aserradero Cárcel 21.58 MPa, Aserradero Macasto 23.89 MPa y Aserradero Quero 23.08 MPa, superan el límite mínimo para clasificar en el Grupo A (21.00 MPa) según la NEC, lo que la hace apta y superior al valor mínimo para muchas especies de madera utilizadas estructuralmente. En términos de resistencia a la carga, este valor asegura que la madera no fallará en condiciones normales de diseño, siempre que se respeten los factores de seguridad.



Gráfica XXII Esfuerzo admisible promedio probetas ensayadas a flexión

El módulo de elasticidad en el Grupo C (5500 MPa) y el Grupo A en esfuerzo admisible (21 MPa) provienen de clasificaciones diferentes y podrían no estar armonizados. Por lo tanto, la madera de ciprés es apta para uso estructural a flexión si la aplicación estructural no demanda exigencias extremas (como grandes luces, cargas elevadas o elementos sometidos a esfuerzos combinados), por lo que, todavía encontrarse dentro de un rango funcional para aplicaciones estructurales, como vigas de longitud moderada, techos, y otras estructuras con exigencias estándar.

Por otro lado, la madera de ciprés no es apta para uso estructural si las cargas son predominantemente paralelas a la fibra o si la rigidez estructural es crítica (como en vigas de gran longitud, estructuras de gran carga, o donde las deflexiones son más sensibles), las pruebas solo en flexión perpendicular a la fibra no proporcionan información suficiente para garantizar la seguridad.

Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos para la madera de ciprés en cuanto a su módulo de elasticidad y esfuerzo admisible, se analizaron estos valores frente a los de otras especies maderables que se utilizan actualmente en el sector de la construcción en Ecuador. Esto permitió evaluar cómo se posiciona la madera de ciprés en relación con otras maderas en términos de rendimiento y adecuación para aplicaciones estructurales en este contexto local.

TABLA XLIV
MÓDULO DE ELASTICIDAD, CONTENIDO DE HUMEDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA ESTRUCTURAL ECUATORIANA SOMETIDA A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA (MPa)

Tipo de Madera	Contenido de humedad (%)	Módulo de elasticidad promedio (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)	Referencia
Ciprés – Aserradero Cárcel	15.30	6622.72	21.58	Autor
Ciprés – Aserradero Macasto	12.30	7165.87	23.89	
Ciprés – Aserradero Quero	14.80	7864.21	23.08	
Ciprés	16.67	4861.00	14.00	[21]
Canelo	9.04	9593.29	27.37	
Eucalipto	15.80	9737.59	19.97	[22]
Capulí	15.15	7716.13	26.90	[23]
Seique	21.90	6049.00	16.27	
Pino	17.61	6456.00	15.63	
Abío	20.11	10950.00	30.76	[7]
Intachi	18.20	12407.00	38.69	

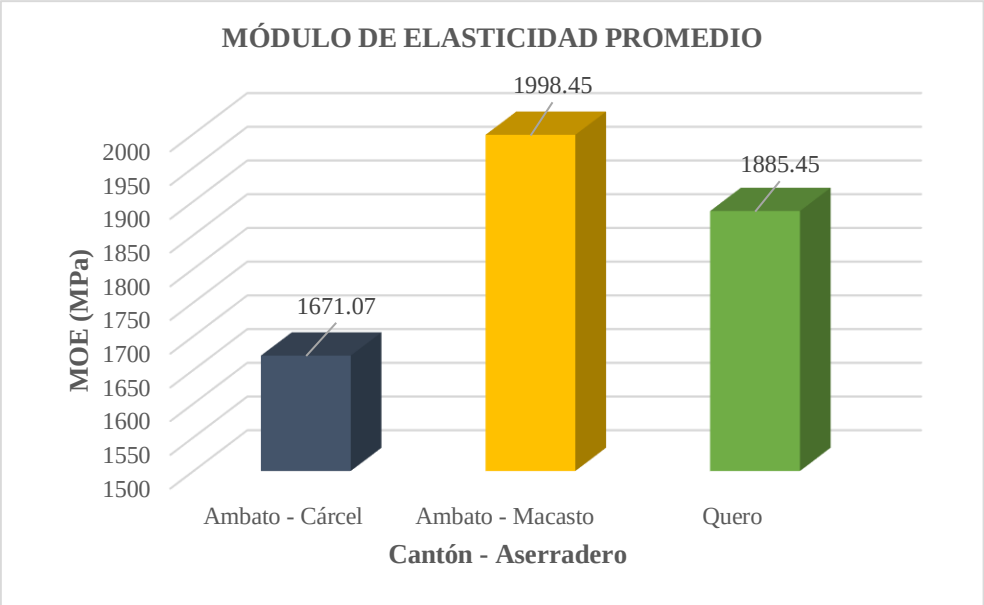
2. Tracción paralela a la fibra

La Tabla XLV presenta los valores del módulo de elasticidad y los esfuerzos admisibles correspondientes a cada aserradero, obtenidos a partir del ensayo de tracción paralela a la fibra.

TABLA XLV
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE CIPRÉS SOMETIDA A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA (MPa)

Cantón	Módulo de elasticidad promedio (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
Ambato – Aserradero Cárcel	1671.07	48.79
Ambato – Aserradero Macasto	1998.45	44.91
Quero – Aserradero Quero	1885.45	39.12

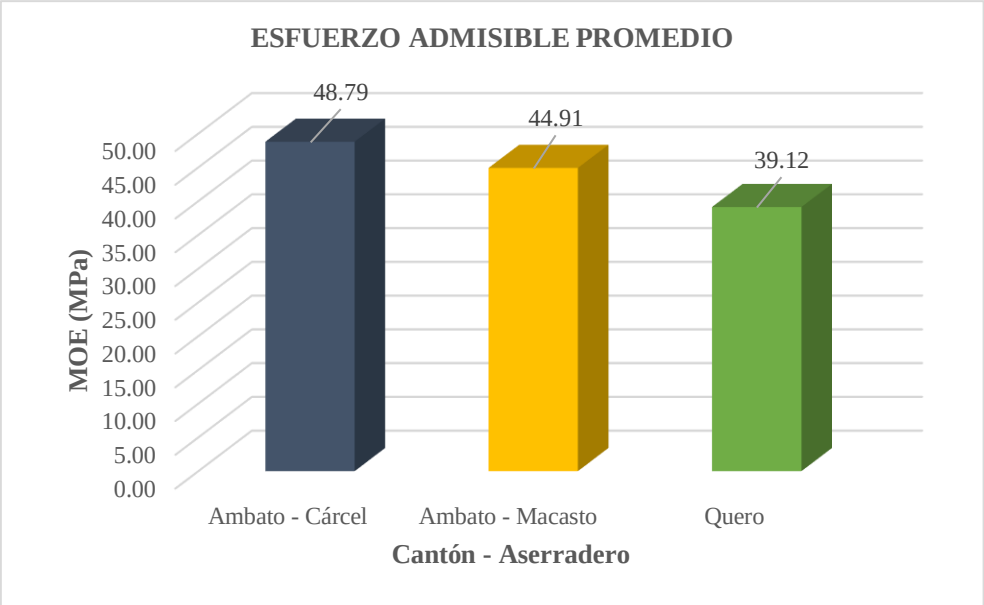
Interpretación: Los resultados reflejan que la madera de ciprés evaluada presenta módulos de elasticidad muy bajos en comparación con los valores establecidos en la NEC para aplicaciones estructurales, por lo que, ninguna de las maderas evaluadas alcanza el valor mínimo característico de 5500 MPa para clasificar siquiera en el Grupo C.



Gráfica XXIII Módulo de elasticidad promedio probetas ensayadas a tracción

Esto sugiere que, en términos de rigidez, la madera de ciprés no cumple con los requisitos mínimos establecidos por la NEC para aplicaciones estructurales exigentes. De manera similar, los valores promedio del módulo de elasticidad de las tres maderas 1837.75 MPa, 1856.12 MPa y 1952.85 MPa respectivamente, están significativamente por debajo del mínimo requerido para el Grupo C (9000 MPa).

Así mismo, los resultados de esfuerzos admisibles muestran que las maderas de los tres aserraderos superan ampliamente los valores mínimos requeridos para el Grupo A (14.50 MPa). En particular, la madera del Aserradero Cárcel, con un esfuerzo admisible de 48.79 MPa, presenta el mejor desempeño entre las muestras analizadas. Por lo tanto, la madera de ciprés proveniente de los tres aserraderos evaluados cumple y excede los estándares más altos de la NEC para el esfuerzo admisible en tracción paralela a la fibra.



Gráfica XXIV Esfuerzo admisible promedio probetas ensayadas a tracción

Al no cumplir con el módulo de elasticidad mínimo puede ser un factor limitante, incluso si el esfuerzo admisible es adecuado.

Esto indica que la madera tiene una rigidez insuficiente para soportar cargas estructurales críticas sin experimentar deformaciones excesivas. Esto podría provocar; deflexiones excesivas en vigas o elementos largos, problemas de funcionalidad en elementos sensibles a deformaciones, como pisos, techos o marcos, vibraciones notables en estructuras livianas. La madera de ciprés no es adecuada para aplicaciones donde la rigidez sea fundamental, como vigas de grandes luces, pisos con altas exigencias de servicio, o columnas sujetas a cargas altas. La baja rigidez (módulo de elasticidad) puede llevar a deformaciones excesivas o problemas funcionales, incluso si no se presenta un fallo estructural. Finalmente, puede ser apta para elementos donde las deformaciones no sean críticas, como arriostramientos, marcos secundarios, o elementos estructurales de baja carga.

TABLA XLVI
MÓDULO DE ELASTICIDAD, CONTENIDO DE HUMEDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA ESTRUCTURAL ECUATORIANA SOMETIDA A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA (MPa)

Tipo de Madera	**Contenido de humedad (%)**	**Módulo de elasticidad promedio (MPa)**	**Esfuerzo admisible (MPa)**	**Referencia**
Ciprés – Aserradero Cárcel	15.30	1671.07	48.79	Autor
Ciprés – Aserradero Macasto	12.30	1998.45	44.91	
Ciprés – Aserradero Quero	14.80	1885.45	39.12	
Ciprés	13.13	1130.00	23.02	[21]
Canelo	10.45	3544.29	55.54	
Eucalipto	15.80	1857.62	30.69	[22]
Capulí	15.15	1585.20	30.92	[23]
Seique	14.30	1191.00	14.06	
Pino	13.90	1357.00	25.28	
Abío	15.83	2540.00	37.60	[7]
Intachi	18.47	1309.00	29.55	

B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Tras analizar los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de la madera de ciprés, se concluyó que esta presenta un desempeño adecuado para su uso en el sector de la construcción, aunque con ciertas limitaciones. Los valores del módulo de elasticidad cumplen con los requisitos mínimos establecidos en la normativa NEC-SE-MD, y los esfuerzos admisibles en flexión perpendicular a la fibra superan los valores especificados, lo que demuestra su capacidad para resistir cargas en esta condición. Sin embargo, en tracción paralela a la fibra, los módulos de elasticidad no alcanzaron los valores mínimos requeridos por la norma, lo que sugiere que no se realice su aplicación estructural o esta sea limitada. Estos resultados destacan la necesidad de un uso selectivo del ciprés como material estructural, priorizando aplicaciones que aprovechen sus fortalezas y minimicen sus debilidades.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

- Como resultado del catastro realizado en la provincia de Tungurahua, se identificaron los cantones de Ambato (con dos aserraderos) y Quero (con un aserradero) como las principales fuentes de provisión de madera de ciprés (Cupressus). La consideración de obtener información de la mayor cantidad de aserraderos que trabajen con madera de ciprés fue de gran importancia, ya que permitió recopilar datos sobre las propiedades mecánicas del material desde diferentes fuentes. Esto haciendo una comparación más precisa y consistente de valores como la carga máxima, el módulo de elasticidad y los esfuerzos admisibles, promoviendo la obtención de resultados más representativos y confiables.
- Tras realizar el análisis del contenido de humedad de la madera de ciprés proveniente de los aserraderos Cárcel, Macasto y Quero, se obtuvieron valores de 15.3%, 12.3% y 14.8%, respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro del rango aceptable para la madera destinada a ensayos mecánicos y aplicaciones estructurales, considerando que un contenido de humedad adecuado es crucial para garantizar la estabilidad dimensional y la precisión en la evaluación de sus propiedades mecánicas.
- Se determinaron las propiedades mecánicas de la madera de ciprés, específicamente el módulo de elasticidad y el esfuerzo admisible, mediante ensayos realizados a flexión perpendicular a la fibra. Primero, el Aserradero Cárcel: Módulo de elasticidad: 6622.72 MPa, esfuerzo admisible: 21.58 MPa. Por otro lado, el Aserradero Macasto: Módulo de elasticidad: 7165.87 MPa, esfuerzo admisible: 23.89 MPa. Finalmente, el Aserradero Quero: Módulo de elasticidad: 7864.21 MPa, esfuerzo admisible: 23.08 MPa. Los cuales se encuentran dentro del rango establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (Capítulo 8 - NEC-SE-MD) para la clasificación en el grupo de madera estructural tipo "C" y “B”, que abarca valores de 5500 MPa y 7500 Mpa respectivamente. Por otro lado, para evaluar el esfuerzo admisible a flexión arrojaron valores promedio de 21.58 MPa, 23.89 MPa y 23.08 MPa,

para su clasificación en el grupo de madera estructural tipo "A". En este grupo se caracteriza por albergar maderas con las más altas propiedades de resistencia admisible, lo que posiciona al ciprés como un material estructural confiable en desempeño a flexión.

- Finalmente, se determinaron las propiedades mecánicas de la madera de ciprés, específicamente el módulo de elasticidad y el esfuerzo admisible, mediante ensayos realizados a tracción paralela a la fibra. Primero, el Aserradero Cárcel: Módulo de elasticidad: 1671.07 MPa, esfuerzo admisible: 48.79 MPa. Por otro lado, el Aserradero Macasto: Módulo de elasticidad: 1998.45 MPa, esfuerzo admisible: 44.91 MPa. Finalmente, el Aserradero Quero: Módulo de elasticidad: 1885.45 MPa, esfuerzo admisible: 39.12 MPa. Los ensayos revelaron que ninguno de los valores obtenidos alcanza el rango mínimo de 5500 MPa requerido para clasificar siquiera en el grupo "C" según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (Capítulo 8 - NEC-SE-MD). Esto indica que la madera de ciprés a tracción no cumple con los estándares establecidos para ser considerada como madera estructural en esta categoría.

II. RECOMENDACIONES

- Realizar todos los ensayos mecánicos de la madera siguiendo estrictamente los procedimientos establecidos en la norma ASTM D143-94, asegurando uniformidad, precisión y comparabilidad en los resultados obtenidos.
- Asegurarse de que las probetas de madera a ensayar estén libres de imperfecciones visibles, como nudos, fisuras o desviaciones significativas en las fibras, para garantizar que los resultados reflejen las propiedades mecánicas reales del material y no anomalías estructurales.
- Incrementar la cantidad de probetas utilizadas en los ensayos mecánicos para obtener resultados más representativos y confiables, ya que un mayor número de muestras reduce la variabilidad y proporciona una evaluación más precisa de las propiedades promedio de la madera.
- Considerar un criterio conservador con la madera, dado que sus propiedades pueden verse afectadas por defectos naturales como nudos, fisuras y variaciones en la densidad, los cuales son inherentes y fuera de nuestro control.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] L. Barrera Peñafiel, A. Llerena Encalada y D. Proaño Escandón, «La Madera en Arquitectura. Identificación y Caracterización de la Madera Estructural en el Ecuador,» *Centro de Estudios en Diseño y Comunicación,* pp. 203-215, 2022.

[2] V. Salazar, «"VIVIENDA CON ESTRUCTURA DE MADERA EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL,» Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Guayaquil, 2014.

[3] M. CAMICON, «Estructuras de Madera,» *NEC-SE-MD,* nº 84, 2013.

[4] M. Idrovo, «Estudio de la factibilidad para la creación de un aserradero en el Cantón Baños, Provincia de Tungurahua,» Riobamba, 2022.

[5] F. Silva, «Desarrollo de biomateriales con base en los desechos de madera en la ciudad de Ambato: Caso de estudio micelio de hongos,» Ambato, 2024.

[6] C. Pinilla, L. Beltran y J. Pavas, «Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la madera del ciprés (Cupressus Lusitáninca Mill),» Tolima, 2021.

[7] C. Cruz, «Análisis de las propiedades físico-mecánicas de madera estructural ecuatoriana y su aplicación en el diseño de vivienda social,» Ambato, 2022.

[8] A. Aguilar, J. Arévalo y M. García, «Propiedades mecánicas de la madera de ciprés,» *Revista de Materiales de Construcción,* vol. 45, nº 3, pp. 123-130, 2019.

[9] L. Hernández, «Estudio comparativo de maderas tropicales para uso estructural,» *Ingeniería y Construcción,* vol. 33, nº 4, pp. 211-218, 2018.

[10] S. M. Torres y A. Pérez, «Análisis de la resistencia a la flexión de especies forestales,» *Journal de Ciencias Forestales,* vol. 52, nº 2, pp. 87-94, 2017.

[11] M. d. A. d. Ecuador, «Política Nacional Forestal y Lineamientos Estratégicos,» Quito, Ecuador, 2015.

[12] A. Smith, «Propiedades físicas y mecánicas de la madera,» *Journal of Wood Science,* vol. 40, nº 2, pp. 145-150, 2018.

[13] E. Plá y Ravé, «Maderas de construcción civil y naval,» Imprenta Nacional, Madrid, 1880.

[14] J. Perez y A. Rivera, «Madera Materiales Naturales».

[15] J. González y M. Sánchez, «Impacto ambiental y sostenibilidad de la madera en la construcción,» *Revista Internacional de Arquitectura y Construcción,* vol. 27, nº 4, pp. 123-130, 2020.

[16] I. E. d. N. (INEN), «Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015),» Quito, Ecuador, 2015.

[17] L. Hernández y J. Martínez, «Comportamiento estructural de la madera de ciprés en aplicaciones de construcción,» *Revista de Ingeniería Civil,* vol. 33, nº 1, pp. 23-30 , 2019.

[18] A. S. f. T. a. Materials, «ASTM D143-94: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber,» ASTM International, West Conshohocken, 1994.

[19] I. E. d. Normalización, «NTE INEN 896: Madera - Determinación de la Resistencia a la Compresión Paralela a las Fibras,» INEN, Quito, Ecuador, 2015.

[20] Herrera y Silvio, «FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES CRUCES DE SAN ANDRÉS UTILIZANDO MADERA DE LA ZONA COMO ALISO O CIPRÉS PARA LA NUEVA CASA COMUNAL DEL BARRIO YUGSICHE ALTO,PARROQUIA TOACASO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI,» Ambato, 2022.

[21] C. Ponce, «Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de canelo proveniente de la ciudad del Puyo provincia de Pastaza y su factibilidad como material estructural de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015),» Ambato, 2024.

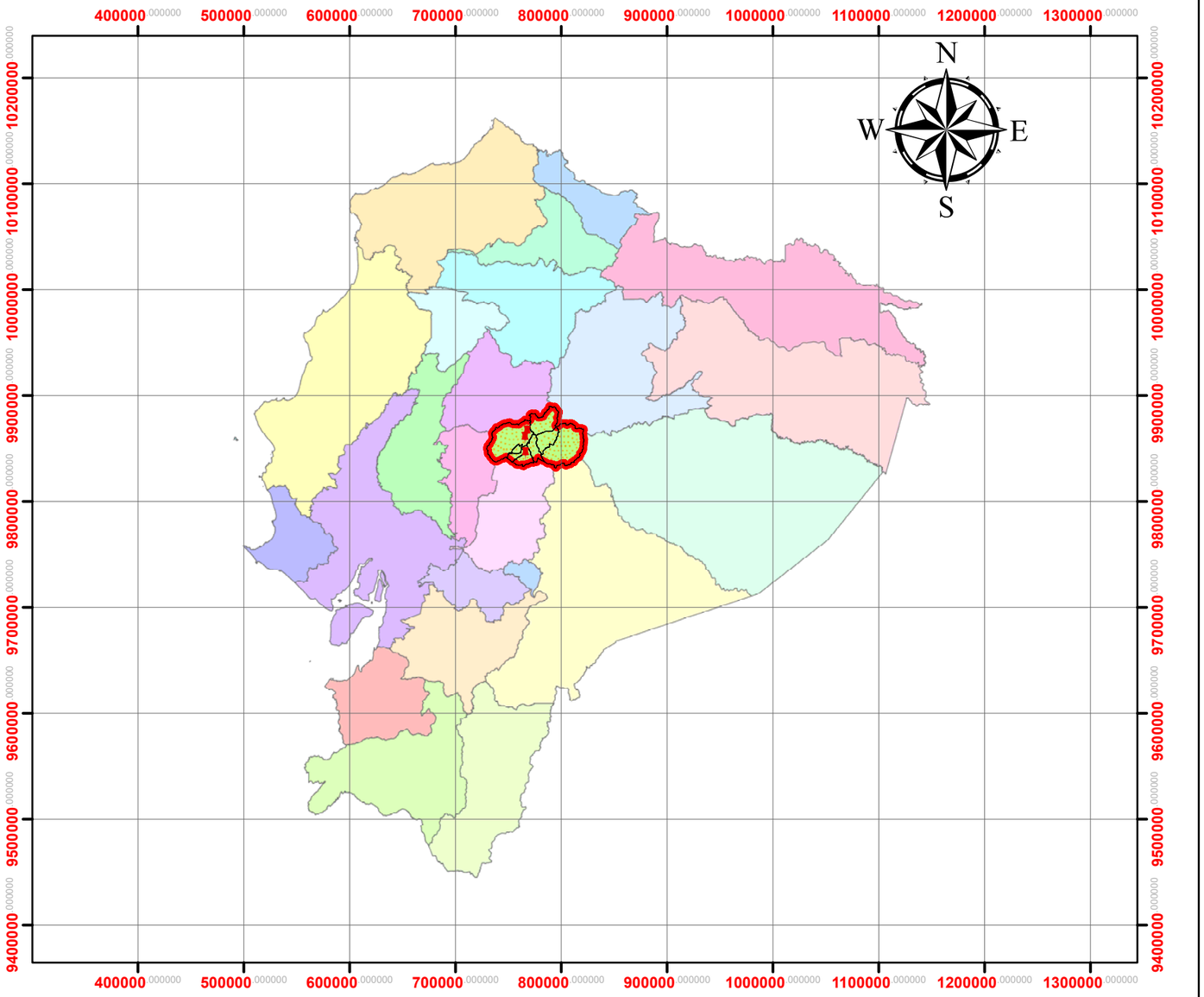
[22] J. Sánchez, «“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE EUCALIPTO (EUCALYPTUS), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)”,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2021.

[23] D. Aldás, «Análisis de las propiedades mecáncias, tracción paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra de la madera de capulí, proveniente de la provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de acuerdo con la NEC 2015,» Ambato, 2023.

ANEXOS

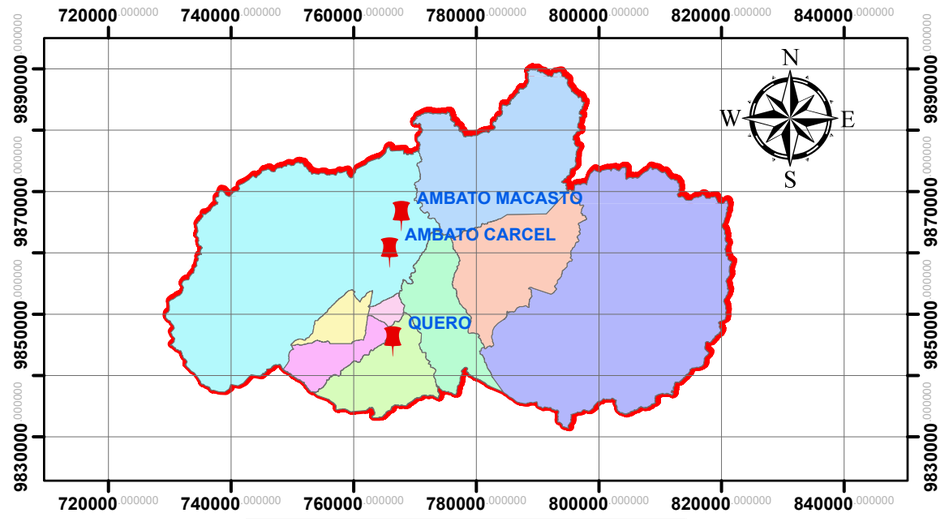
A. ANEXO “A”: CATASTRO DE LOS ASERRADEROS CON PROCESAMIENTO DE MADERA DE CIPRÉS

CATASTRO UBICACION ASERRADEROS



Ambato Aserradero - Cárcel			
	Flexión perpendicular a la fibra		Tracción paralela a la fibra
Carga máxima	2063.26 N	Esfuerzo máximo	123.43 Mpa
Módulo de elasticidad promedio	5877.52 Mpa	Módulo de elasticidad promedio	1837.75 Mpa
Esfuerzo admisible promedio	21.58 Mpa	Esfuerzo admisible promedio	48.79 Mpa

PROVINCIA:	CANTON:	ESCALA:
TUNGURAHUA	AMBATO	1:1 000 000



ASERRADERO	ESTE	NORTE
AMBATO MACASTO	767778	9865976
AMBATO CARCEL	765854	9860031
QUERO	766373	9845524

REFERENCIA CARTOGRAFICA PARA LA UBICACION

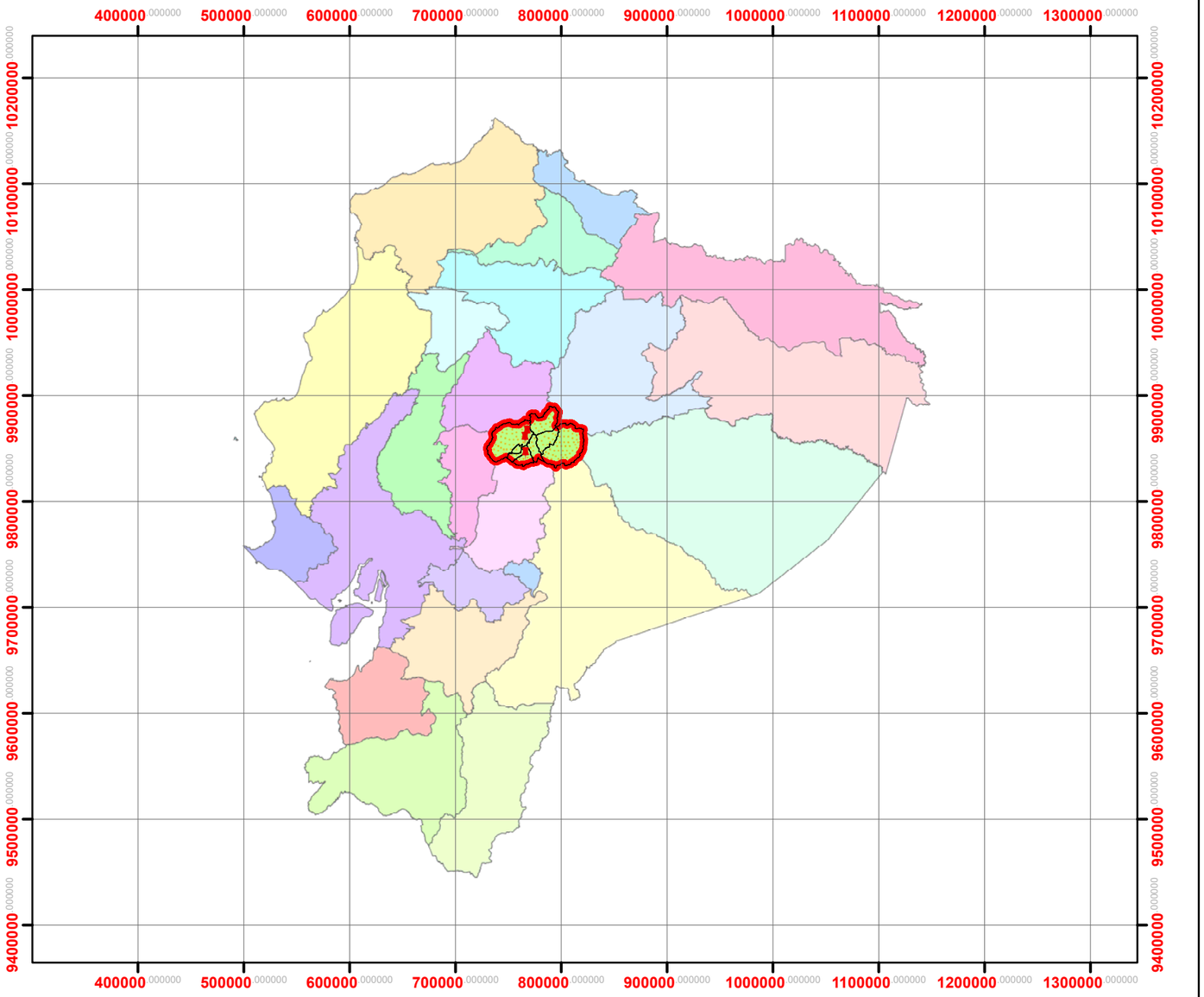
ASERRADERO AMBATO SECTOR CARCEL



PROYECCION CARTOGRAFICA UTM	ASERRADEROS	REF. CARTA TOP. IGM: 1: 5 000 000	FECHA
DATUM WGS84 ZONA 17 SUR	TIPO MADERA: CIPRES	N - IV - C4	10/01/2025

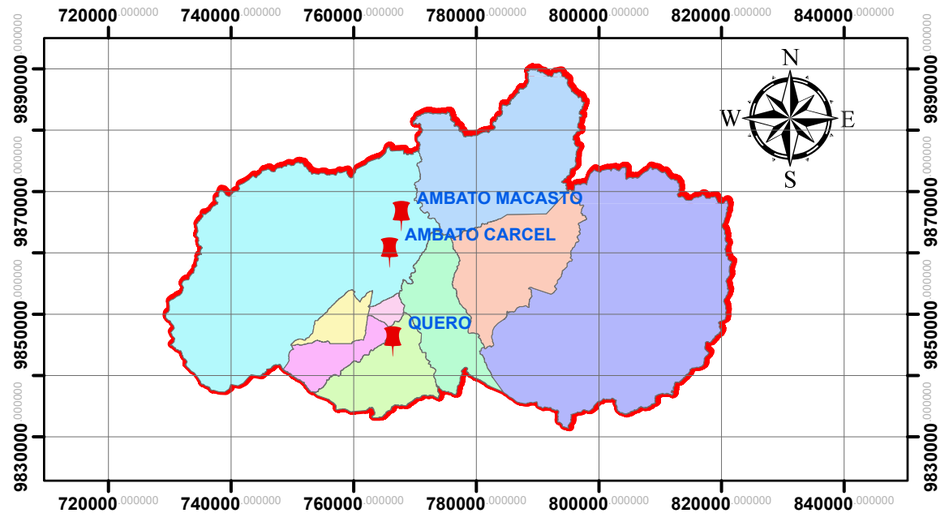
ESCALA:	RESPONSABLE:	REVISADO Y APROBADO:
1:1 000	SR. MARIO EDUARDO DELGADO LUCIO	ING. MG. MARITZA UREÑA, MG.

CATASTRO UBICACION ASERRADEROS



Ambato Aserradero - Macasto			
	Flexión perpendicular a la fibra		Tracción paralela a la fibra
Carga máxima	2557.93 N	Esfuerzo máximo	114.36 Mpa
Módulo de elasticidad promedio	7003.71 Mpa	Módulo de elasticidad promedio	1894.02 Mpa
Esfuerzo admisible promedio	23.89 Mpa	Esfuerzo admisible promedio	49.67 Mpa

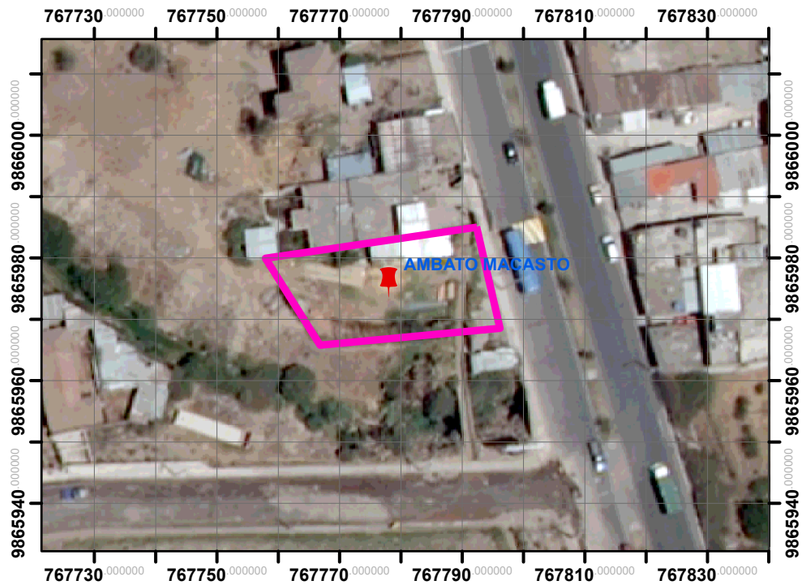
PROVINCIA:	CANTON:	ESCALA:
TUNGURAHUA	AMBATO	1:1 000 000



ASERRADERO	ESTE	NORTE
AMBATO MACASTO	767778	9865976
AMBATO CARCEL	765854	9860031
QUERO	766373	9845524

REFERENCIA CARTOGRAFICA PARA LA UBICACION

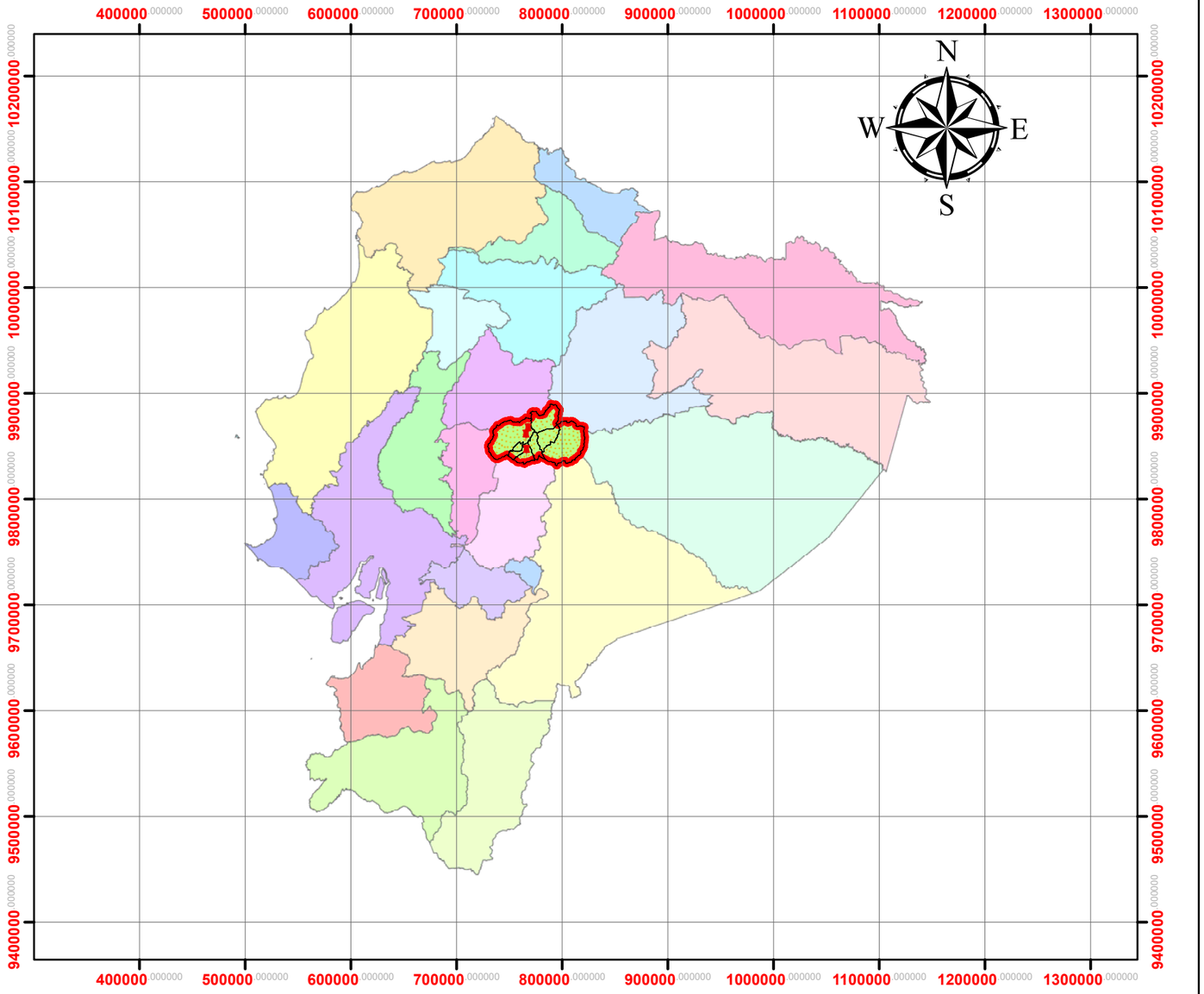
ASERRADERO AMBATO SECTOR ENTRADA A MACASTO



PROYECCION CARTOGRAFICA UTM	ASERRADEROS	REF. CARTA TOP. IGM: 1: 5 000 000	FECHA
DATUM WGS84 ZONA 17 SUR	TIPO MADERA: CIPRES	N - IV - C4	10/01/2025

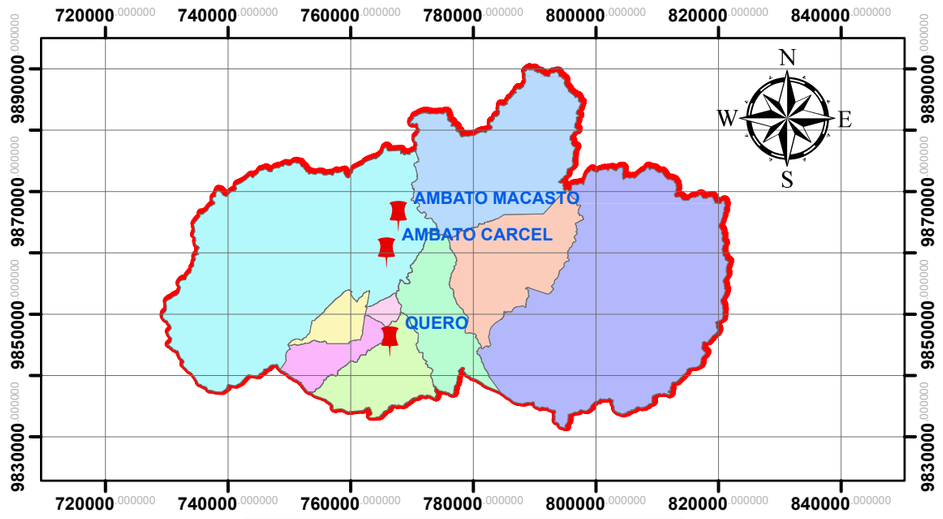
ESCALA:	RESPONSABLE:	REVISADO Y APROBADO:
1:1 000	SR. MARIO EDUARDO DELGADO LUCIO	ING. MG. MARITZA UREÑA, MG.

CATASTRO UBICACION ASERRADEROS



Quero Aserradero - Quero			
	Flexión perpendicular a la fibra		Tracción paralela a la fibra
Carga máxima	2229.21 N	Esfuerzo máximo	85.16 Mpa
Módulo de elasticidad promedio	6639.21 Mpa	Módulo de elasticidad promedio	1800.00 Mpa
Esfuerzo admisible promedio	23.08 Mpa	Esfuerzo admisible promedio	37.53 Mpa

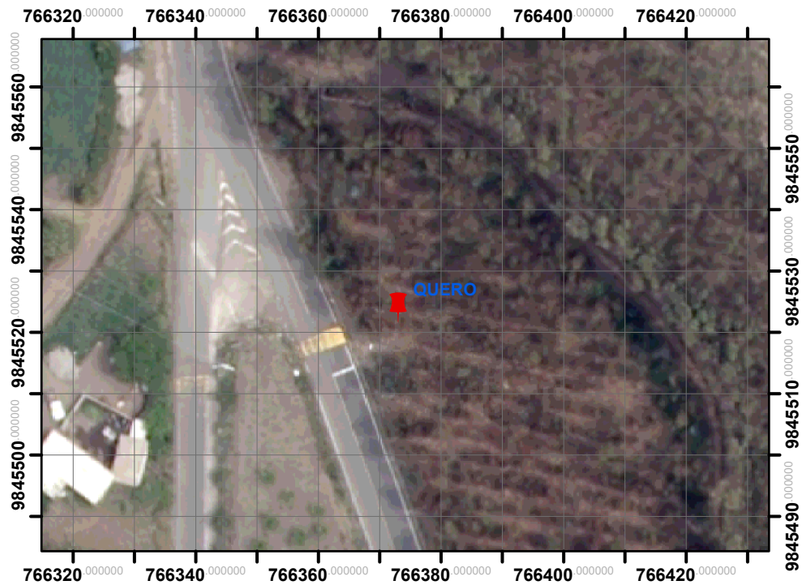
PROVINCIA:	CANTON:	ESCALA:
TUNGURAHUA	QUERO	1:1 000 000



ASERRADERO	ESTE	NORTE
AMBATO MACASTO	767778	9865976
AMBATO CARCEL	765854	9860031
QUERO	766373	9845524

REFERENCIA CARTOGRAFICA PARA LA UBICACION

ASERRADERO QUERO SECTOR LA Y



PROYECCION CARTOGRAFICA UTM	ASERRADEROS	REF. CARTA TOP. IGM: 1: 5 000 000	FECHA
DATUM WGS84 ZONA 17 SUR	TIPO MADERA: CIPRES	N - IV - C4	10/01/2025

ESCALA:	RESPONSABLE:	REVISADO Y APROBADO:
1:1 000	SR. MARIO EDUARDO DELGADO LUCIO	ING. MG. MARITZA UREÑA, MG.

B. ANEXO "B": ANEXOS FOTOGRÁFICOS DE LA OBTENCIÓN Y CORTE DE LA MADERA

<table>
<tr><th colspan="2">UBICACIÓN DE ASERRADEROS PARA CATASTRO</th></tr>
<tr><th colspan="2">AMBATO MACASTO</th></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Aserradero Propiedad de la Sra. Carmen Amelia Guaño Guaño</td></tr>
<tr><td>
</td><td></td></tr>
<tr><td>Toma de coordenadas del aserradero</td><td>Toma de medidas y elección del tablón de ciprés</td></tr>
<tr><th colspan="2">AMBATO CÁRCEL</th></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Aserradero Propiedad de la Sr. Edwin Patricio Rodríguez Guaño</td></tr>
<tr><td>
</td><td></td></tr>
</table>

Toma de coordenadas del aserradero	Toma de medidas y elección del tablón de ciprés
QUERO	
	
Aserradero Propiedad de la Sr. Benjamín Brijido Benalcázar Silva	
	
Toma de coordenadas del aserradero	Toma de medidas y elección del tablón de ciprés
PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS FÍSICOS	
	
Corte de la madera de los aserraderos: Ambato Cárcel, Ambato Macasto, Quero	Toma inicial de pesos de cada muestra de madera
	
Colocación de muestras de madera en horno por 24 horas	Toma final de pesos de cada muestra de madera transcurridas las 24 horas

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LOS CORTES DE LAS PROBETAS PARA ENSAYOS MECÁNICOS



Medición del largo de los tablones de ciprés obtenidas de Ambato y Quero



Medición del ancho y espesor de los tablones de ciprés obtenidas de Ambato y Quero



Proceso de canteado para mejorar los bordes del tablón de madera de ciprés



Proceso de corte para obtener tiras con largo de 2,40 cm y espesor de 3,0 cm



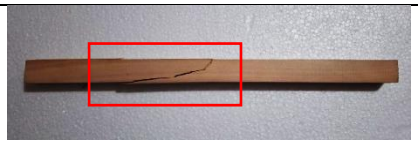
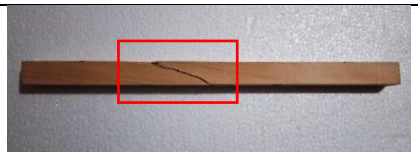
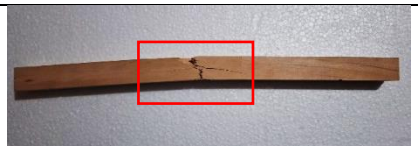
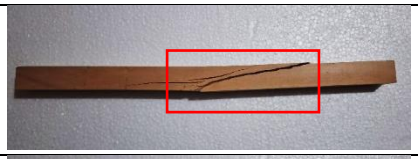
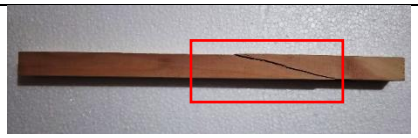
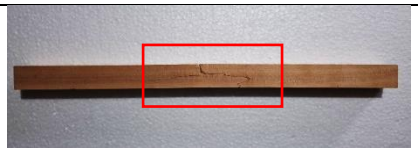
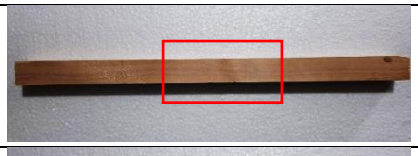
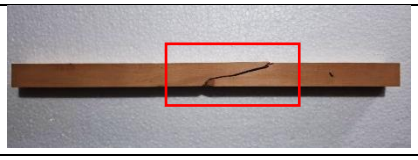
Proceso de cepillado para obtener tiras con el espesor de 2,5 x 2,5 cm requerido

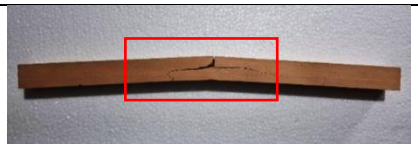
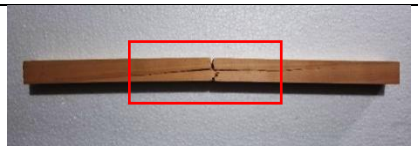
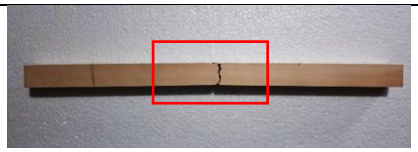
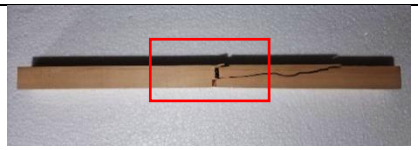
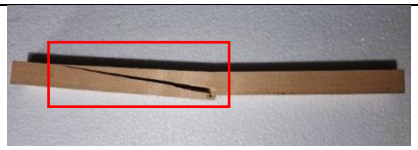
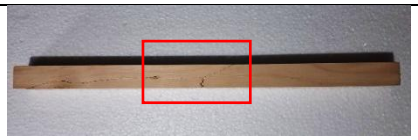
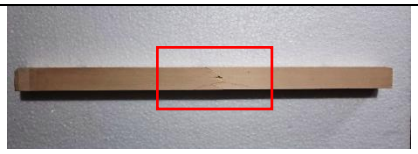
<table>
<tr><td colspan="2">PROCEDIMIENTO DE CORTE DE LAS PROBETAS PARA ENSAYO FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Corte de las tiras con dimensiones de 410 mm x 25 mm x 25 mm según Norma ASTM 145 – 94 para probetas a ensayarse a Flexión perpendicular a la fibra</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Largo de 410 mm para probetas a Flexión</td><td>Ancho de 25 x 25 mm para probetas a Flexión</td></tr>
<tr><td colspan="2">PROCEDIMIENTO DE CORTE DE LAS PROBETAS PARA ENSAYO TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Corte de las tiras con dimensiones de 460 mm x 25 mm x 25 mm según Norma ASTM 145 – 94 para probetas a ensayarse a Tracción paralela a la fibra</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Largo de 460 mm y ancho de 25 x 25 mm para probetas a Tracción</td><td>Trazado de medidas para dimensiones internas según normativa para las probetas</td></tr>
</table>



Vista frontal y lateral de las probetas a Tracción según lo especificado en la Norma ASTM 145 – 94

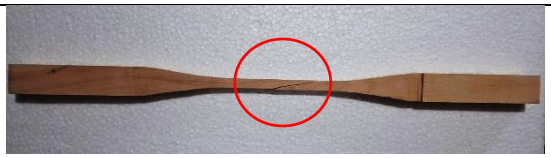
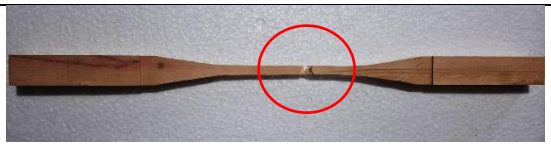
FALLAS VISUALIZADAS EN LAS PROBETAS ENSAYADAS MEDIANTE ENSAYO A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

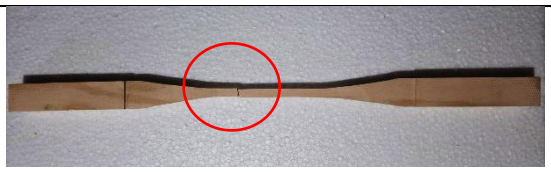
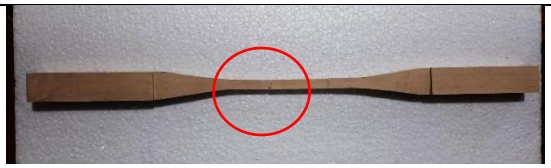
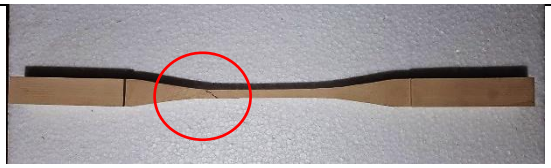
Cantón Ambato – Aserradero Cárcel		
Probeta	**Tipo de falla**	**Fotografía**
FC-1	b) Tensión transversal a la fibra	
FC-2	b) Tensión transversal a la fibra	
FC-3	d) Tensión abrupta	
FC-4	b) Tensión transversal a la fibra	
FC-5	b) Tensión transversal a la fibra	
Cantón Ambato – Aserradero Macasto		
FM-1	a) Tensión Simple	
FM-2	b) Tensión transversal a la fibra	
FM-3	b) Tensión transversal a la fibra	

FM-4	a) Tensión Simple	
FM-5	d) Tensión abrupta	
Cantón Quero– Aserradero Quero		
FQ-1	d) Tensión abrupta	
FQ-2	d) Tensión abrupta	
FQ-3	b) Tensión transversal a la fibra	
FQ-4	a) Tensión Simple	
FQ-5	c) Tensión de astilla fila	

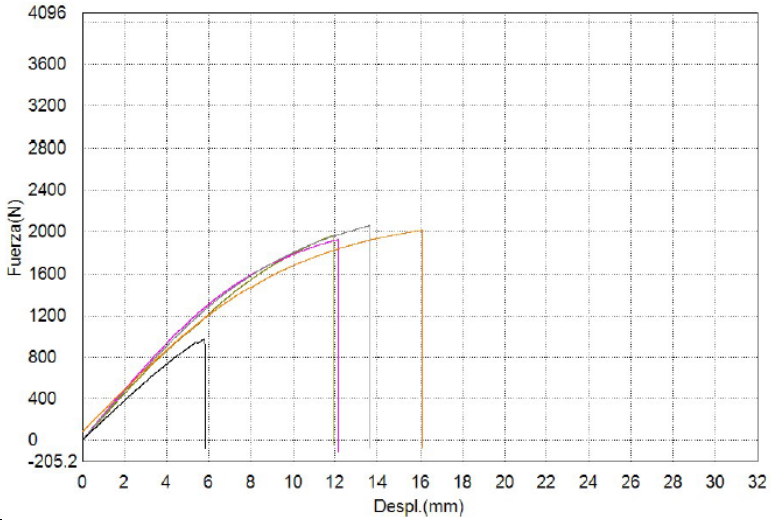
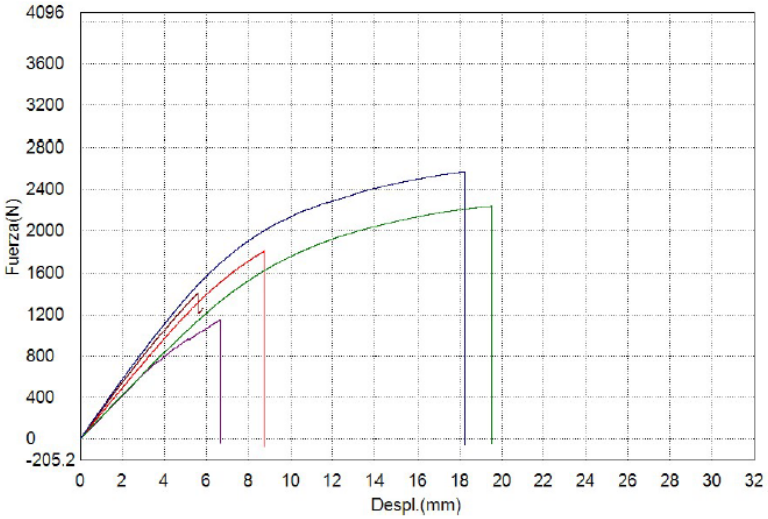
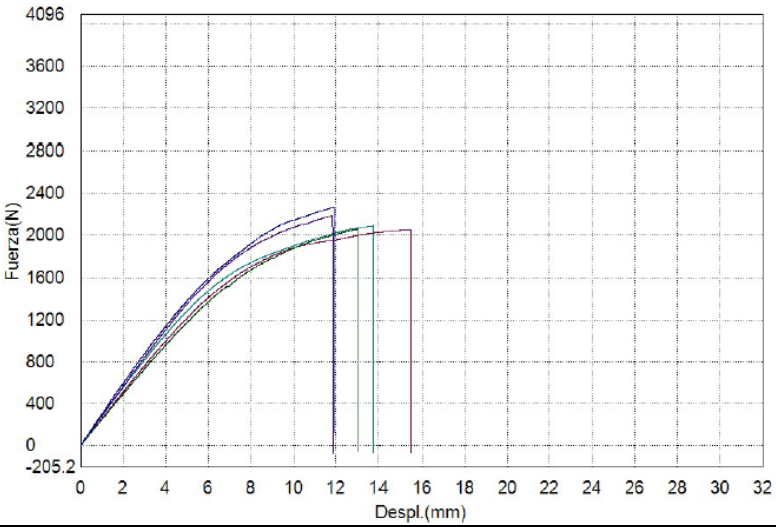
FALLAS VISUALIZADAS EN LAS PROBETAS ENSAYADAS MEDIANTE ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

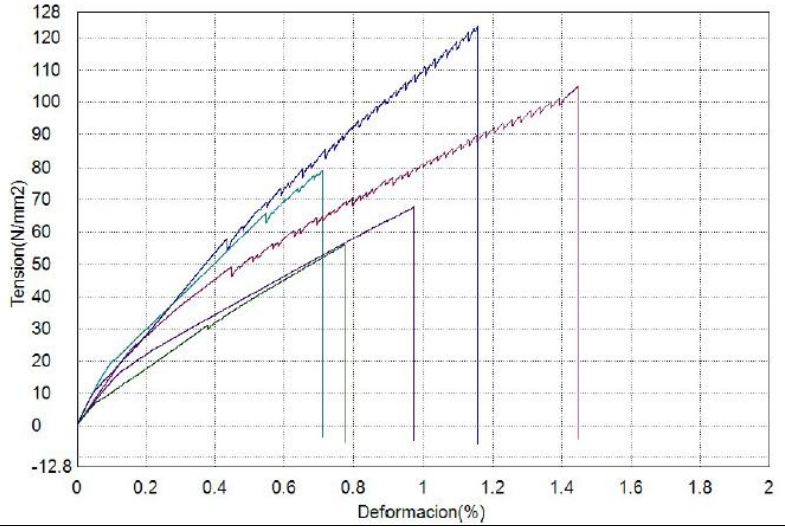
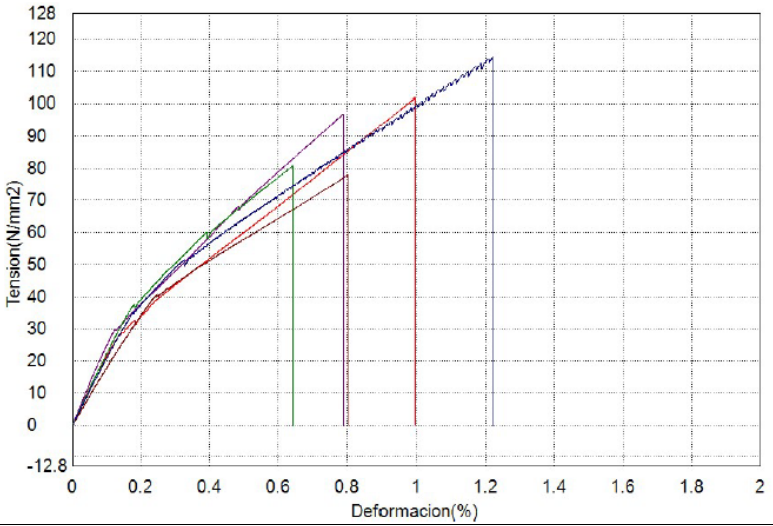
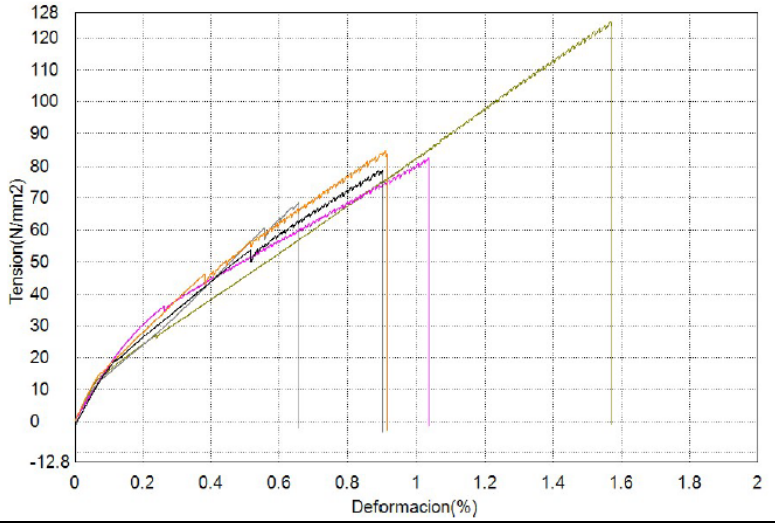
Cantón Ambato – Aserradero Cárcel

Probeta	**Tipo de falla**	**Fotografía**
TC-1	c) Tensión cortante	
TC-2	d) Tensión frágil	
TC-3	d) Tensión frágil	
TC-4	c) Tensión cortante	

TC-5	d) Tensión frágil	
Cantón Ambato – Aserradero Macasto		
TM-1	c) Tensión cortante	
TM-2	c) Tensión cortante	
TM-3	c) Tensión cortante	
TM-4	c) Tensión cortante	
TM-5	d) Tensión frágil	
Cantón Quero – Aserradero Quero		
TQ-1	d) Tensión frágil	
TQ-2	c) Tensión cortante	
TQ-3	d) Tensión frágil	
TQ-4	c) Tensión cortante	
TQ-5	c) Tensión cortante	

C. ANEXO "C": GRÁFICAS ENSAYO A FLEXIÓN Y TRACCIÓN – MÁQUINA UNIVERSAL

Flexión perpendicular a la fibra	
Probetas Ambato – Aserradero Cárcel	
Probetas Ambato – Aserradero Macasto	
Probetas Quero – Aserradero Quero	

Tracción paralela a la fibra	
Probetas Ambato – Aserradero Cárcel	
Probetas Ambato – Aserradero Macasto	
Probetas Quero – Aserradero Quero	

D. ANEXO "D": NORMA ASTM D143 – 94

Designation: D143 – 14

Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber[1]

This standard is issued under the fixed designation D143; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

INTRODUCTION

The need to classify wood species by evaluating the physical and mechanical properties of small clear specimens has always existed. Because of the great variety of species, variability of the material, continually changing conditions of supply, many factors affecting test results, and ease of comparing variables, the need will undoubtedly continue to exist.

In the preparation of these methods for testing small clear specimens, consideration was given both to the desirability of adopting test methods that would yield results comparable to those already available and to the possibility of embodying such improvements as experience has shown desirable. In view of the many thousands of tests made under a single comprehensive plan by the U.S. Forest Service, the former Forest Products Laboratories of Canada (now FP Innovations), and other similar organizations, these test methods naturally conform closely to the methods used by those institutions. These test methods are the outgrowth of a study of both American and European experience and methods. The general adoption of these test methods will tend toward a world-wide unification of results, permitting an interchange and correlation of data, and establishing the basis for a cumulative body of fundamental information on the timber species of the world.

Descriptions of some of the strength tests refer to primary methods and secondary methods. Primary methods provide for specimens of 2 by 2-in. (50 by 50-mm) cross section. This size of specimen has been extensively used for the evaluation of various mechanical and physical properties of different species of wood, and a large number of data based on this primary method have been obtained and published.

The 2 by 2-in. (50 by 50-mm) size has the advantage in that it embraces a number of growth rings, is less influenced by earlywood and latewood differences than smaller size specimens, and is large enough to represent a considerable portion of the sampled material. It is advisable to use primary method specimens wherever possible. There are circumstances, however, when it is difficult or impossible to obtain clear specimens of 2 by 2-in. cross section having the required 30 in. (760 mm) length for static bending tests. With the increasing incidence of smaller second growth trees, and the desirability in certain situations to evaluate a material which is too small to provide a 2 by 2-in. cross section, a secondary method which utilizes a 1 by 1-in. (25 by 25-mm) cross section has been included. This cross section is established for compression parallel to grain and static bending tests, while the 2 by 2-in. cross section is retained for impact bending, compression perpendicular to grain, hardness, shear parallel to grain, cleavage, and tension perpendicular to grain. Toughness and tension parallel to grain are special tests using specimens of smaller cross section.

The user is cautioned that test results between two different sizes of specimens are not necessarily directly comparable. Guidance on the effect of specimen size on a property being evaluated is beyond the scope of these test methods and should be sought elsewhere.

Where the application, measurement, or recording of load and deflection can be accomplished using electronic equipment and computerized apparatus, such devices are encouraged, providing they do not lower the standard of accuracy and reliability available with basic mechanical equipment.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of various strength and related properties of wood by testing small clear specimens.

1.1.1 These test methods represent procedures for evaluating the different mechanical and physical properties, controlling factors such as specimen size, moisture content, temperature, and rate of loading.

1.1.2 Sampling and collection of material is discussed in Practice D5536. Sample data, computation sheets, and cards have been incorporated, which were of assistance to the investigator in systematizing records.

1.1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are mathematical conversions to SI units that are provided for information only and are not considered standard. When a weight is prescribed, the basic inch-pound unit of weight (lbf) and the basic SI unit of mass (Kg) are cited.

1.2 The procedures for the various tests appear in the following order:

	Sections
Photographs of Specimens	5
Control of Moisture Content and Temperature	6
Record of Heartwood and Sapwood	7
Static Bending	8
Compression Parallel to Grain	9
Impact Bending	10
Toughness	11
Compression Perpendicular to Grain	12
Hardness	13
Shear Parallel to Grain	14
Cleavage	15
Tension Parallel to Grain	16
Tension Perpendicular to Grain	17
Nail Withdrawal	18
Specific Gravity and Shrinkage in Volume	19
Radial and Tangential Shrinkage	20
Moisture Determination	21
Permissible Variations	22
Calibration	23

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*[2]

D198 Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes

D2395 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials

D3043 Test Methods for Structural Panels in Flexure

D3500 Test Methods for Structural Panels in Tension

D4442 Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials

D4761 Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material

D5536 Practice for Sampling Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E2309 Practices for Verification of Displacement Measuring Systems and Devices Used in Material Testing Machines

3. Summary of Test Methods

3.1 The mechanical tests are static bending, compression parallel to grain, impact bending toughness, compression perpendicular to grain, hardness, shear parallel to grain (Note 1), cleavage, tension parallel to grain, tension-perpendicular-to-grain, and nail-withdrawal tests. These tests may be made on both green and air-dry material as specified in these test methods. In addition, test methods for evaluating such physical properties as specific gravity, shrinkage in volume, radial shrinkage, and tangential shrinkage are presented.

NOTE 1—The test for shearing strength perpendicular to the grain (sometimes termed "vertical shear") is not included as one of the principal mechanical tests since in such a test the strength is limited by the shearing resistance parallel to the grain.

4. Significance and Use

4.1 These test methods cover tests on small clear specimens of wood that are made to provide the following:

4.1.1 Data for comparing the mechanical properties of various species,

4.1.2 Data for the establishment of correct strength functions, which in conjunction with results of tests of timbers in structural sizes (see Test Methods D198 and Test Methods D4761), afford a basis for establishing allowable stresses, and

4.1.3 Data to determine the influence on the mechanical properties of such factors as density, locality of growth, position in cross section, height of timber in the tree, change of properties with seasoning or treatment with chemicals, and change from sapwood to heartwood.

5. Photographs of Specimens

5.1 Four of the static bending specimens from each species shall be selected for photographing, as follows: two average growth, one fast growth, and one slow growth. These specimens shall be photographed in cross section and on the radial and tangential surfaces. Fig. 1 is a typical photograph of a cross section of 2 by 2-in. (50 by 50-mm) test specimens, and Fig. 2 is the tangential surface of such specimens.

6. Control of Moisture Content and Temperature

6.1 In recognition of the significant influence of temperature and moisture content on the strength of wood, it is highly desirable that these factors be controlled to ensure comparable test results.

6.2 *Control of Moisture Content*—Specimens for the test in the air-dry condition shall be dried to approximately constant weight before test. Should any changes in moisture content

[1] These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D07 on Wood and are the direct responsibility of Subcommittee D07.01 on Fundamental Test Methods and Properties.

Current edition approved Feb. 1, 2014. Published April 2014. Originally approved in 1922. Last previous edition approved in 2009 as D143 – 09. DOI: 10.1520/D0143-14.

[2] For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

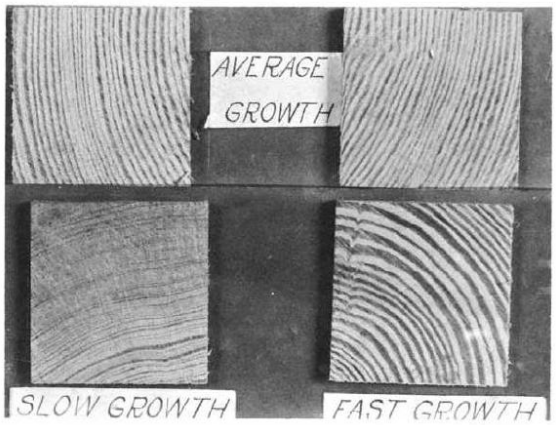


FIG. 1 Cross Sections of Bending Specimens Showing Different Rates of Growth of Longleaf Pine (2 by 2-in. (50 by 50-mm) Specimens)

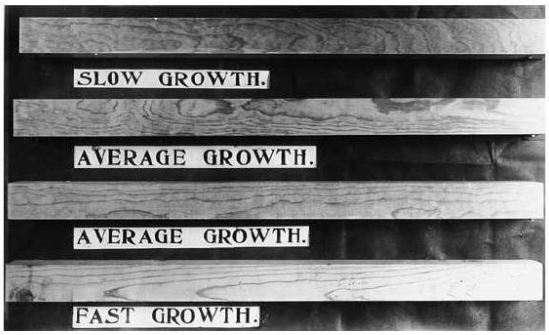


FIG. 2 Tangential Surfaces of Bending Specimens of Different Rates of Growth of Jeffrey Pine 2 by 2-in. (50 by 50 by 760-mm) Specimens

occur during final preparation of specimens, the specimens shall be reconditioned to constant weight before test. Tests shall be carried out in such manner that large changes in moisture content will not occur. To prevent such changes, it is desirable that the testing room and rooms for preparation of test specimens have some means of humidity control.

6.3 *Control of Temperature*—Temperature and relative humidity together affect wood strength by fixing its equilibrium moisture content. The mechanical properties of wood are also affected by temperature alone. When tested, the specimens shall be at a temperature of 68 + 6°F (20 + 3°C). The temperature at the time of test shall in all instances be recorded as a specific part of the test record.

7. Record of Heartwood and Sapwood

7.1 *Proportion of Sapwood*—The estimated proportion of sapwood present should be recorded for each test specimen.

8. Static Bending

8.1 *Size of Specimens*—The static bending tests shall be made on 2 by 2 by 30 in. (50 by 50 by 760 mm) primary method specimens or 1 by 1 by 16 in. (25 by 25 by 410 mm) secondary method specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

8.2 *Loading Span and Supports*—Use center loading and a span length of 28 in. (710 mm) for the primary method and 14 in. (360 mm) for the secondary method. These spans were established in order to maintain a minimum span-to-depth ratio of 14. Both supporting knife edges shall be provided with bearing plates and rollers of such thickness that the distance from the point of support to the central plane is not greater than the depth of the specimen (Fig. 3). The knife edges shall be adjustable laterally to permit adjustment for slight twist in the specimen (Note 2).

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

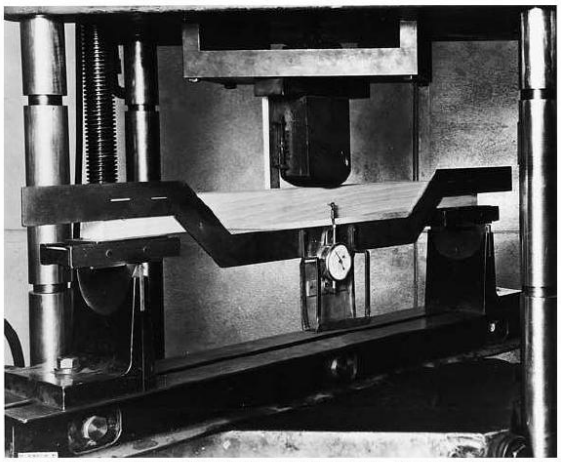


FIG. 3 Static Bending Test Assembly Showing Test Method of Load Application, Specimen Supported on Rollers and Laterally Adjustable Knife Edges, and Test Method of Measuring Deflection at Neutral Axis by Means of Yoke and Displacement Measurement Device

NOTE 2—Details of laterally adjustable supports may be found in Fig. 1 of Test Methods D3043.

8.3 *Bearing Block*—A bearing block of the form and size of that shown in Fig. 4 shall be used for applying the load for primary method specimens. A block having a radius of 1½ in. (38 mm) for a chord length of not less than 2 in. (50 mm) shall be used for secondary method specimens.

8.4 *Placement of Growth Rings*—The specimen shall be placed so that the load will be applied through the bearing block to the tangential surface nearest the pith.

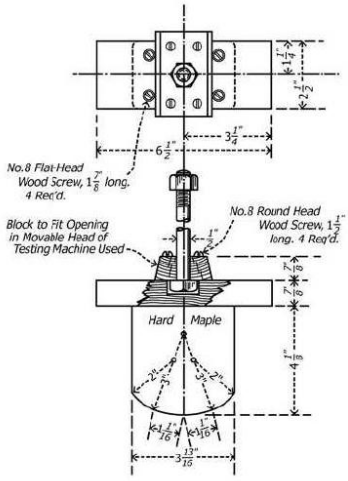


FIG. 4 Details of Bearing Block for Static Bending Tests

8.5 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3), for primary method specimens, and at a rate of 0.05 in. (1.3 mm)/min for secondary method specimens.

8.6 *Load-Deflection Curves:*

8.6.1 At a minimum, the load-deflection curves shall be recorded and the test continued up to the maximum load for all static bending tests. If required for the purposes of the study, it shall be permitted to continue both loading and the load-deflection measurement beyond the maximum load.

NOTE 3—One situation where the user may choose to continue the test and the load-deflection measurements beyond the maximum load is if the total energy under the flexural load-deflection curve is a parameter of concern. In these instances for primary method specimens, it has been customary to continue the test and record the load-deflection curve beyond the maximum load to a 6 in. (152 mm) deflection or until the specimen fails to support a load of 200 lbf (890 N). For secondary method specimens, it has been customary to continue loading to a 3 in. (76 mm) deflection, or until the specimen fails to support a load of 50 lbf (222 N).

8.6.2 Deflections of the neutral plane at the center of the length shall be taken with respect to points in the neutral plane above the supports. Alternatively, deflection may be taken relative to the tension surface at midspan. However, take care to ensure that vertical displacements which may occur at the reactions are accounted for.

8.6.3 Within the proportional limit, deflection readings shall be taken with a yoke-mounted displacement measurement device capable of at least a Class B rating when evaluated in accordance with Practice E2309. After the proportional limit is reached, less refinement is necessary in observing deflections. It shall be permissible to continue the deflection measurement beyond the proportional limit using an alternative means of deflection measurement capable of at least a Class C rating when evaluated in accordance with Practice E2309. At a

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

minimum, the load-deflection curve shall be recorded at 0.10 in. (2.5 mm) intervals and also after abrupt changes in load.

8.6.4 The load and deflection of first failure, the maximum load, and points of sudden change shall be read and shown on the curve sheet (Note 4) although they may not occur at one of the regular load or deflection increments.

NOTE 4—See Fig. 5 for a sample static bending data sheet form.

8.7 *Description of Static Bending Failures*—Static bending (flexural) failures shall be classified in accordance with the appearance of the fractured surface and the manner in which the failure develops (Fig. 6). The fractured surfaces may be roughly divided into "brash" and "fibrous", the term "brash" indicating abrupt failure and "fibrous" indicating a fracture showing splinters.

8.8 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before test, and after the test a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut from the specimen near the point of failure (see 21.1 and 22.1).

9. Compression Parallel to Grain

9.1 *Size of Specimens*—The compression-parallel-to-grain tests shall be made on 2 by 2 by 8 in. (50 by 50 by 200 mm)

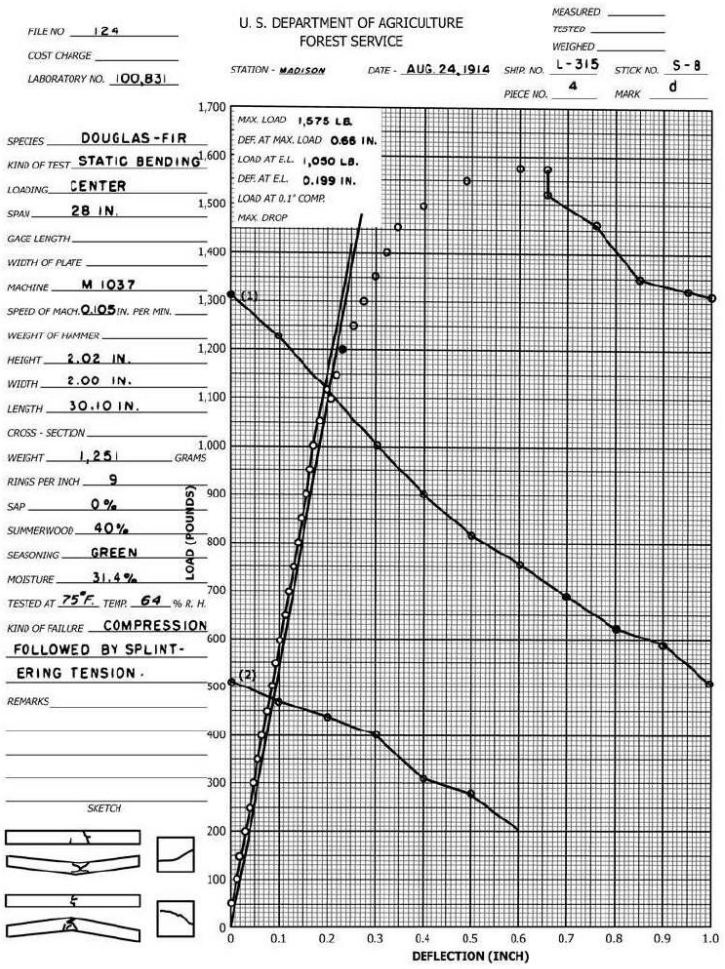
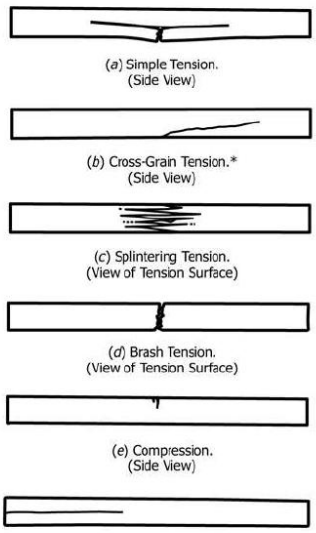


FIG. 5 Sample Data Sheet for Static Bending Test

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.



NOTE 1—The term "cross grain" shall be considered to include all deviations of grain from the direction of the longitudinal axis or longitudinal edges of the specimen. It should be noted that spiral grain may be present even to a serious extent without being evident from a casual observation.

NOTE 2—The presence of cross grain having a slope that deviates more than 1 in 20 from the longitudinal edges of the specimen shall be cause for culling the test.

FIG. 6 Types of Failures in Static Bending

primary method specimens, or 1 by 1 by 4 in. (25 by 25 by 100 mm) secondary method specimens. The actual cross-sectional dimensions and the length shall be measured (see 22.2).

9.2 *End Surfaces Parallel*—Special care shall be used in preparing the compression-parallel-to-grain test specimens to ensure that the end grain surfaces will be parallel to each other and at right angles to the longitudinal axis. At least one platen of the testing machine shall be equipped with a spherical bearing to obtain uniform distribution of load over the ends of the specimen.

9.3 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.003 in./in. (mm/mm) of nominal specimen length/min (see 22.3).

9.4 *Load-Compression Curves:*

9.4.1 Load-compression curves shall be taken over a central gage length not exceeding 6 in. (150 mm) for primary method specimens, and 2 in. (50 mm) for secondary method specimens. Load-compression readings shall be continued until the proportional limit is well passed, as indicated by the curve (Note 5).

NOTE 5—See Fig. 7 for a sample compression-parallel-to-grain data sheet form.

9.4.2 Deformations shall be recorded using displacement measurement devices that are capable of a Class A rating when evaluated in accordance with Practice E2309.

9.4.3 Figs. 8 and 9 illustrate two types of compressometers that have been found satisfactory for wood testing. Similar apparatus is available for measurements of compression over a 2 in. (50 mm) gage length.

9.5 *Position of Test Failures*—In order to obtain satisfactory and uniform results, it is necessary that the failures be made to develop in the body of the specimen. With specimens of uniform cross section, this result can best be obtained when the ends are at a very slightly lower moisture content than the body. With green material, it will usually suffice to close-pile the specimens, cover the body with a damp cloth, and expose the ends for a short time. For dry material, it may sometimes be advisable to pile the specimens in a similar manner and place them in a desiccator, should the failures in test indicate that a slight end-drying is necessary.

9.6 *Descriptions of Compression Failures*—Compression failures shall be classified in accordance with the appearance of the fractured surface (Fig. 10). In case two or more kinds of failures develop, all shall be described in the order of their occurrence; for example, shearing followed by brooming. The failure shall also be sketched in its proper position on the data sheet.

9.7 *Weight and Moisture Content*—See 8.8.

9.8 *Ring and Latewood Measurement*—When practicable, the number of rings per inch (average ring width in millimetres) and the proportion of summerwood shall be measured over a representative inch (centimetre) of cross section of the test specimen. In determining the proportion of summerwood, it is essential that the end surface be prepared so as to permit accurate latewood measurement. When the fibers are broomed over at the ends from sawing, a light sanding, planing, or similar treatment of the ends is recommended.

10. Impact Bending

10.1 *Size of Specimens*—The impact bending tests shall be made on 2 by 2 by 30 in. (50 by 50 by 760 mm) specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

10.2 *Loading and Span*—Use center loading and a span length of 28 in. (710 mm).

10.3 *Bearing Block*—A metal tup of curvature corresponding to the bearing block shown in Fig. 4 shall be used in applying the load.

10.4 *Placement of Growth Rings*—The specimen shall be placed so that the load will be applied through the bearing block to the tangential surface nearest the pith.

10.5 *Procedure*—Make the tests by increment drops in a Hatt-Turner or similar impact machine (see Fig. 11). The first drop shall be 1 in. (25 mm), after which increase the drops by 1 in. increments until a height of 10 in. (250 mm) is reached.

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

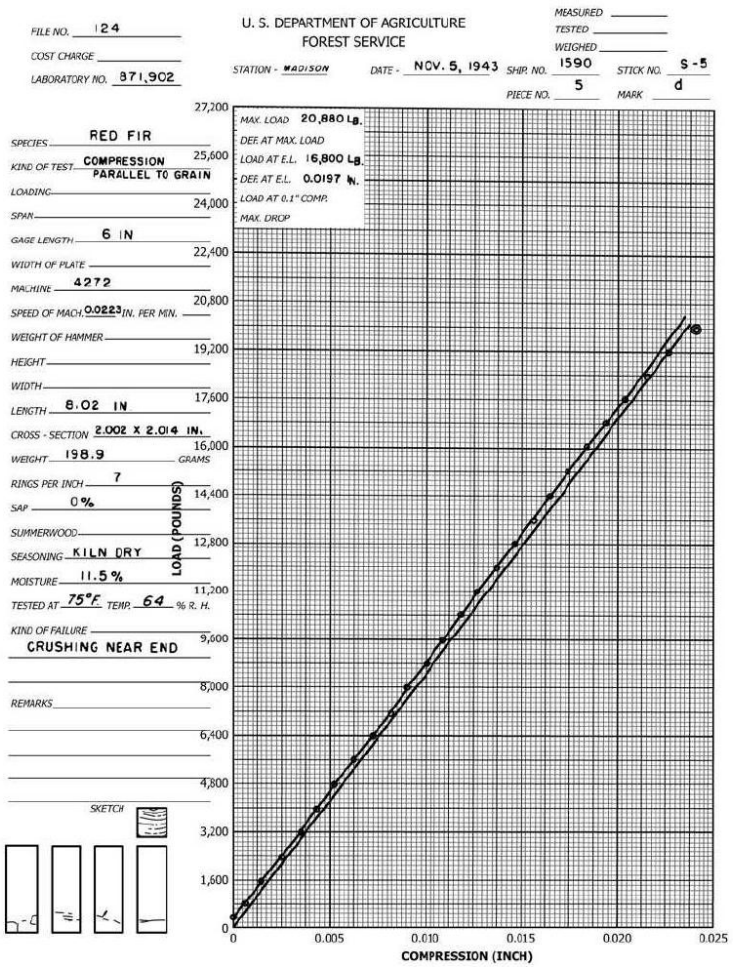


FIG. 7 Sample Data Sheet for Compression-Parallel-to-Grain Test

Then use a 2 in. (50 mm) increment until complete failure occurs or a 6 in. (150 mm) deflection is reached.

10.6 *Weight of Hammer*—A50 lbf (22.5 kg) hammer shall be used when, with drops up to the capacity of the machine (about 68 in. (1.7 m) for the small Hatt-Turner impact machine), it is practically certain that complete failure or a 6 in. (150 mm) deflection will result for all specimens of a species. For all other cases, a 100 lbf (45 kg) hammer shall be used.

10.7 *Deflection Records*—When desired, graphical drum records (Note 6) giving the deflection for each drop and the set, if any, shall be made until the first failure occurs. This record will also afford data from which the exact height of drop can be scaled for at least the first four falls.

NOTE 6—See Fig. 12 for a sample drum record.

10.8 *Drop Causing Failure*—The height of drop causing either complete failure or a 6 in. (150 mm) deflection shall be observed for each specimen.

10.9 *Description of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 7) and described in accordance with the directions for static bending in 8.7.

NOTE 7—See Fig. 13 for a sample impact bending data sheet form. Fig.

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

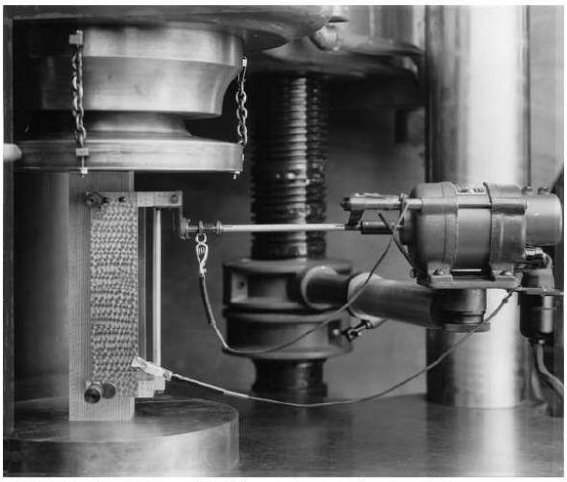


FIG. 8 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Using an Automatic Type of Compressometer to Measure Deformations (The wire in the lower right-hand corner connects the compressometer with the recording unit.)

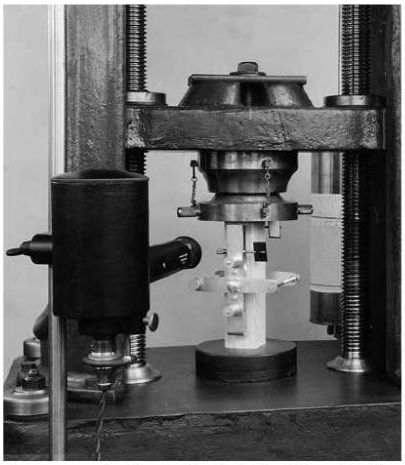


FIG. 9 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Method of Measuring Deformations by Means of Roller-Type Compressometer

14 shows a sample data and computation card.

10.10 *Weight and Moisture Content*—See 8.8.

11. Toughness

11.1 A single-blow impact test on a small specimen is recognized as a valuable and desirable test. Several types of machines such as the Toughness, Izod and Amsler have been used, but insufficient information is available to decide whether one procedure is superior to another, or whether the results by the different test methods can be directly correlated. If the Toughness machine is used, the following procedure has been found satisfactory. To aid in standardization and to facilitate comparisons, the size of the toughness specimen has been made equal to that accepted internationally.

11.2 *Size of Specimen*—The toughness tests shall be made on 0.79 by 0.79 by 11 in. (20 by 20 by 280 mm) specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

11.3 *Loading and Span*—Center loading and a span length of 9.47 in. (240 mm) shall be used. The load shall be applied to a radial or tangential surface on alternate specimens.

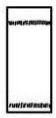
11.4 *Bearing Block*—An aluminum tup (Fig. 15) having a radius of ¾ in. (19 mm) shall be used in applying the load.

11.5 *Apparatus and Procedure*—Make the tests in a pendulum type toughness machine (Note 8) (See Fig. 15). Adjust the machine before test so that the pendulum hangs vertically, and adjust it to compensate for friction. Adjust the cable so that the load is applied to the specimen when the pendulum swings to 15° from the vertical, so as to produce complete failure by the time the downward swing is completed. Choose the weight position and initial angle (30, 45, or 60°) of the pendulum, so that complete failure of the specimen is obtained on one drop. Most satisfactory results are obtained when the difference between the initial and final angle is at least 10°.

NOTE 8—Many pendulum-type toughness machines are based on a design developed and used at the USDA Forest Products Laboratory in Madison, Wisconsin.

11.6 *Calculation*—The initial and final angle shall be read to the nearest 0.1° by means of the vernier (Fig. 15) attached to the machine (Note 9).

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.



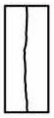
Crushing
This term shall be used when the plane of rupture is approximately horizontal.



Wedge Split
The direction of the split, that is whether radial or tangential, shall be noted.



Shearing
This term shall be used when the plane rupture makes an angle of more than 45 deg with the top of the specimen.



Splitting
This type of failure usually occurs in specimens having internal defects prior to test and shall be the basis for culling the specimen.



Compression and Shearing Parallel to Grain
This failure usually occurs in cross-grained pieces and shall be the basis for culling the specimen.



Brooming or End-Rolling
This type of failure is usually associated with either an excess moisture content at the ends of the specimen, improper cutting of the specimen, or both. This is not an acceptable type of failure and usually is associated with a reduced load. Consideration should be given to remedial conditions when this type of failure is observed.

FIG. 10 Types of Failures in Compression

NOTE 9—See Fig. 16 for sample data and computation sheet for the toughness test.

The toughness shall then be calculated as follows:

$$T = wL(\cos A_2 - \cos A_1) \quad (1)$$

where:

T = toughness (work per specimen, in. · lbf (Nm),
w = weight of pendulum, lbf (N),
L = distance from center of the supporting axis to center of gravity of the pendulum, in. (m),
A_1 = initial angle (Note 10), degrees, and
A_2 = final angle the pendulum makes with the vertical after failure of the test specimen, degrees.

NOTE 10—Since friction is compensated for in the machine adjustment, the initial angle may be regarded as exactly 30, 45, or 60°, as the case may be.

11.7 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before test, and after test a moisture section approximately 2 in. (50 mm) in length shall be cut from the specimen near the failure (see 21.1 and 22.1).

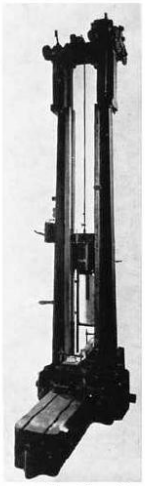


FIG. 11 Hatt-Turner Impact Machine, Illustrating Test Method of Conducting Impact Bending Test

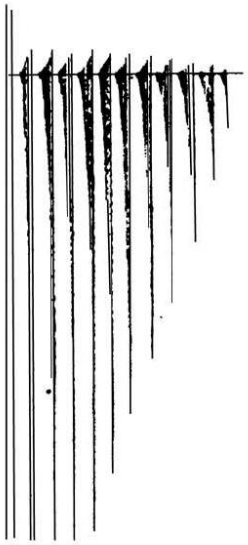


FIG. 12 Sample Drum Record of Impact Bending Test

12. Compression Perpendicular to Grain

12.1 *Size of Specimens*—The compression-perpendicular-to-grain tests shall be made on 2 by 2 by 6 in. (50 by 50 by 150 mm) specimens. The actual height, width, and length shall be measured (see 22.2).

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

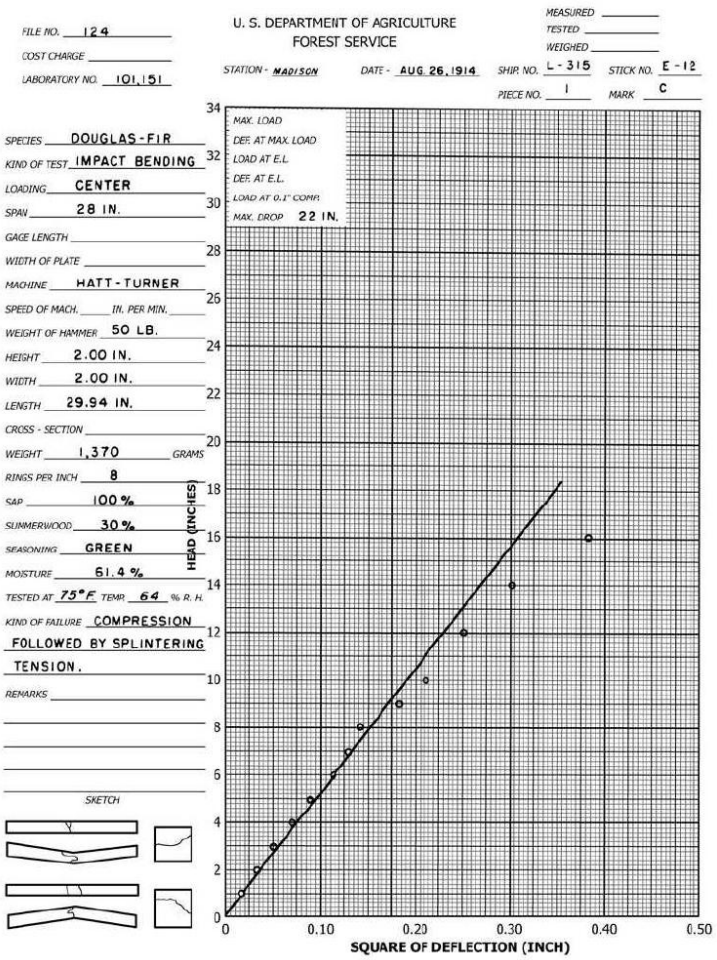


FIG. 13 Sample Data Sheet for Impact Bending Test

12.2 *Loading*—The load shall be applied through a metal bearing plate 2 in. (50 mm) in width, placed across the upper surface of the specimen at equal distances from the ends and at right angles to the length (Fig. 17). The actual width of the bearing plate shall be measured (see 22.2).

12.3 *Placement of Growth Rings*—The specimens shall be placed so that the load will be applied through the bearing plate to a radial surface.

12.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.012 in. (0.305 mm)/min (see 22.3).

12.5 *Load-Compression Curves:*

12.5.1 Load-compression curves (Note 11) shall be taken for all specimens up to 0.1 in. (2.5 mm) compression, after which the test shall be discontinued. Compression shall be measured between the loading surfaces.

NOTE 11—See Fig. 18 for a sample compression-perpendicular-to-grain data sheet form.

12.5.2 Deformations shall be recorded using displacement measurement devices that are capable of at least a Class A rating when evaluated in accordance with Practice E2309.

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

IMPACT BENDING

L-315 (Ship. No.) E-12 (Stock No.) 1011.1 (Lab. No.)
1 (Piece No.) C (Mark) Station MADISON Date Aug. 20, 1914 124 (Project No.)
Species Douglas Fir Grade Clear Seasoning Green
Rings 8 Sap 100 % Summerwood 30 % Moisture 61.4 %
Hammer 50 lbs. Span 28 in. Length 29.94 in. Heigth 2.00 in. Width 2.00 in. Weight 1370 g.

Drop No.	Head.	Dev.	Dev²	Set.	Drop No.	Head.	Dev.	Dev²	Set.		
1	1.0	0.13	0.017		11	12.0	0.50	0.250		Sp. Gr. (at test),	0.698
2	2.0	0.18	0.032		12	14.0	0.55	0.302		Sp. Gr. (oven dry),	0.432
3	3.0	0.22	0.048		13	16.0	0.62	0.384		F. S. at E. L_p	10 610
4	4.0	0.26	0.068		14	18.0	0.67	0.593		M. of E_u	1776
5	5.0	0.30	0.090		15					E. Resil$_u$	3.51
6	6.0	0.34	0.116		16					Max. Drop,	22 in.
7	7.0	0.35	0.130		17					d_1	0.010
8	8.0	0.38	0.144		18					H	7.88
9	9.0	0.43	0.185		19					Δ	0.39
10	10.0	0.46	0.212		20						

Failure: Compression followed by Splintering Tension.

FIG. 14 Sample Data and Computation Card for Impact Bending Test

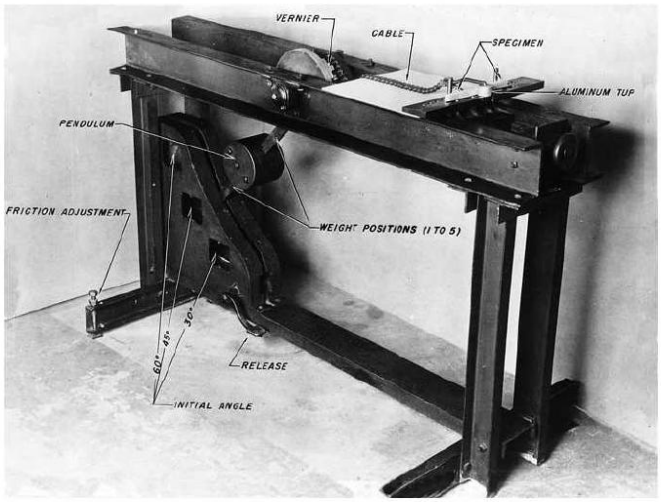


FIG. 15 Toughness Test Assembly

12.6 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before test, and after test a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut adjacent to the part under load (see 21.1 and 22.1).

13. Hardness

13.1 *Size of Specimens*—The hardness tests shall be made on 2 by 2 by 6 in. (50 by 50 by 150 mm) specimens. The actual cross-sectional dimensions and length shall be measured (see 22.2).

13.2 *Procedure*—Use the modified ball test with a "ball" 0.444 in. (11.3 mm) in diameter for determining hardness (Fig. 19). The projected area of the ball on the test specimen is 1 cm^2. Record the load at which the ball has penetrated to one half its diameter, as determined by an electric circuit indicator or by the tightening of the collar against the specimen.

13.3 *Number of Penetrations*—Two penetrations shall be made on a tangential surface, two on a radial surface, and one on each end. The choice between the two radial and between the two tangential surfaces shall be such as to give a fair average of the piece. The penetrations shall be far enough from the edge to prevent splitting or chipping (Note 12).

NOTE 12—See Fig. 20 for a sample data and computation sheet for hardness test.

13.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.25 in. (6 mm/min) (see 22.3).

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

TOUGHNESS

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT Str. 1L SEASONING GREEN MEASURED BY

COST CHARGE 01-3-005 SPAN 9.47 IN. WEIGHED BY

LABORATORY NOS. 268,779A-806A MACHINE NO. 4,715 TESTED BY

DATE FEB. 1, 1950 TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 64 %

STICK NO.	LAB. NO.	DIMENSIONS L" x H" x W"	WEIGHT GM.	MOIST. %	SP. GR.	POSITION OF RINGS * RAD.	POSITION OF RINGS * TANG.	WEIGHT	INITIAL ANGLE °	FINAL ANGLE °	FINAL ANGLE '	TOUGHNESS INCH - POUNDS	REMARKS
								3	45				
22E-3-D-1	785A	11.02 X .794 X .797	53.80	32.0	.351	v				32	30	143.8	
2	786A	11.02 X .789 X .790	52.54	31.8	.354		v			31	56	149.7	
22E-5-C-1	787A	11.02 X .792 X .795	53.56	35.7	.347	v				33	10	136.8	
2	788A	11.02 X .794 X .795	53.00	39.6	.333		v			34	4	127.6	

* "RAD." LOAD APPLIED TO RADIAL FACE; "TANG." LOAD APPLIED TO TANGENTIAL FACE.

FIG. 16 Sample Data and Computation Sheet for Toughness Test

13.5 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before the test, and after the test a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut (see 21.1 and 22.1).

14. Shear Parallel to Grain

14.1 This section describes one method of making the shear-parallel-to-grain test that has been extensively used and found satisfactory.

14.2 *Size of Specimens*—The shear-parallel-to-grain tests shall be made on a 2 by 2 by 2-½ in. (50 by 50 by 63 mm) specimens notched in accordance with Fig. 21 to produce failure on a 2 by 2 in. (50 by 50 mm) surface. The actual dimensions of the shearing surface shall be measured (see 22.2).

14.3 *Procedure*—Use a shear tool similar to that illustrated in Figs. 22 and 23, providing a 1/16 in. (3 mm) offset between the inner edge of the supporting surface and the plane of the adjacent edge of the loading surface. Apply the load to and support the specimen on end-grain surfaces. The shear tool shall include an adjustable crossbar to align the specimen and support the back surface at the base plate. Take care in placing the specimen in the shear tool to see that the crossbar is adjusted, so that the edges of the specimen are vertical and the end rests evenly on the support over the contact area. Observe the maximum load only.

14.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.024 in. (0.6 mm)/min (see 22.3).

14.5 *Test Failures*—The failure shall be sketched on the datasheet (Note 13). In all cases where the failure at the base of the specimen extends back onto the supporting surface, the test shall be culled.

NOTE 13—See Fig. 24 for a sample data and computation sheet for the tangential-shear-parallel-to-grain test.

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

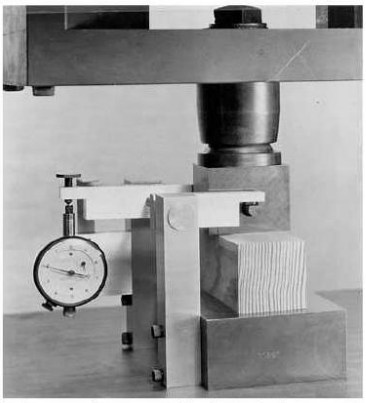


FIG. 17 Compression-Perpendicular-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application and Measurement of Deformation by Means of Averaging-Type Compressometer

14.6 *Moisture Content*—The portion of the test piece that is sheared off shall be used as a moisture specimen (see 21.1 and 22.1).

15. Cleavage

15.1 *Size of Specimens*—The cleavage tests shall be made on specimens of the form and size in accordance with Fig. 25. The actual width and length at minimum section shall be measured (see 22.2).

15.2 *Procedure*—The specimens shall be held during test in grips as shown in Figs. 26 and 27. Observe the maximum load only.

15.3 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3).

15.4 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 14).

NOTE 14—See Fig. 28 for a sample data and computation sheet for the cleavage test.

15.5 *Moisture Content*—One of the pieces remaining after failure, or a section split along the surface of failure, shall be used as a moisture specimen (see 21.1 and 22.1).

16. Tension Parallel to Grain

16.1 One test method of determining the tension-parallel-to-grain strength of wood is given in the following procedure.

16.2 *Size of Specimens*—The tension-parallel-to-grain tests shall be made on specimens of the size and shape in accordance with Fig. 29. The specimen shall be so oriented that the direction of the annual rings at the critical section on the ends of the specimens, shall be perpendicular to the greater cross-sectional dimension. The actual cross-sectional dimensions at minimum section shall be measured (see 22.2).

16.3 *Procedure:*

16.3.1 Fasten the specimen in special grips (Fig. 30). Deformation shall be measured over a 2 in. (50 mm) central gage length on all specimens. Take load-extension readings until the proportional limit is passed.

16.3.2 Deformations shall be recorded using displacement measurement devices that are capable of a Class A rating when evaluated in accordance with Practice E2309.

16.3.3 Fig. 30 illustrates gripping devices and a type of extensometer that have been found satisfactory.

16.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.05 in (1mm)/min (see 22.3).

16.5 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 15).

NOTE 15—See Fig. 31 for a sample tension-parallel-to-grain-data and computation sheet.

16.6 *Moisture Content*—A moisture section about 3 in. (76 mm) in length shall be cut from the reduced section near the failure (see 21.1 and 22.1).

17. Tension Perpendicular to Grain

17.1 *Size of Specimens*—The tension-perpendicular-to-grain tests shall be made on specimens of the size and shape in accordance with Fig. 32. The actual width and length at minimum sections shall be measured (see 22.2).

17.2 *Procedure*—Fasten the specimens during test in grips as shown in Figs. 33 and 34. Observe the maximum load only.

17.3 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3).

17.4 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 16).

NOTE 16—See Fig. 35 for a sample data and computation sheet for the tension-perpendicular-to-grain test.

17.5 *Moisture Content*—One of the pieces remaining after failure or a section split along the surface of failure, shall be used as a moisture specimen (see 21.1 and 22.1).

18. Nail Withdrawal

18.1 *Nails*—Nails used for withdrawal tests shall be 0.0985 in. (2.5 mm) in diameter (Note 17). Bright diamond-point nails shall be used. All nails shall be cleaned before use to remove any coating or surface film that may be present as a result of manufacturing operations. Each nail shall be used once.

NOTE 17—A fivepenny common nail meets this requirement. If difficulty is experienced with high-density woods in pulling the nails without breaking the heads, a sevenpenny cement-coated sinker nail with coating removed by use of a suitable solvent, may be used.

18.2 *Preparation of Specimens*—Nails shall be driven at right angles to the face of the specimen to a total penetration of $1\frac{1}{4}$ in. (32 mm). Two nails shall be driven on a tangential surface, two on a radial surface, and one on each end. The choice between the two radial and two tangential surfaces shall be such as to give a fair average of the piece. On radial and tangential faces, the nails shall be driven a sufficient distance from the edges and ends of the specimen to avoid splitting. In

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

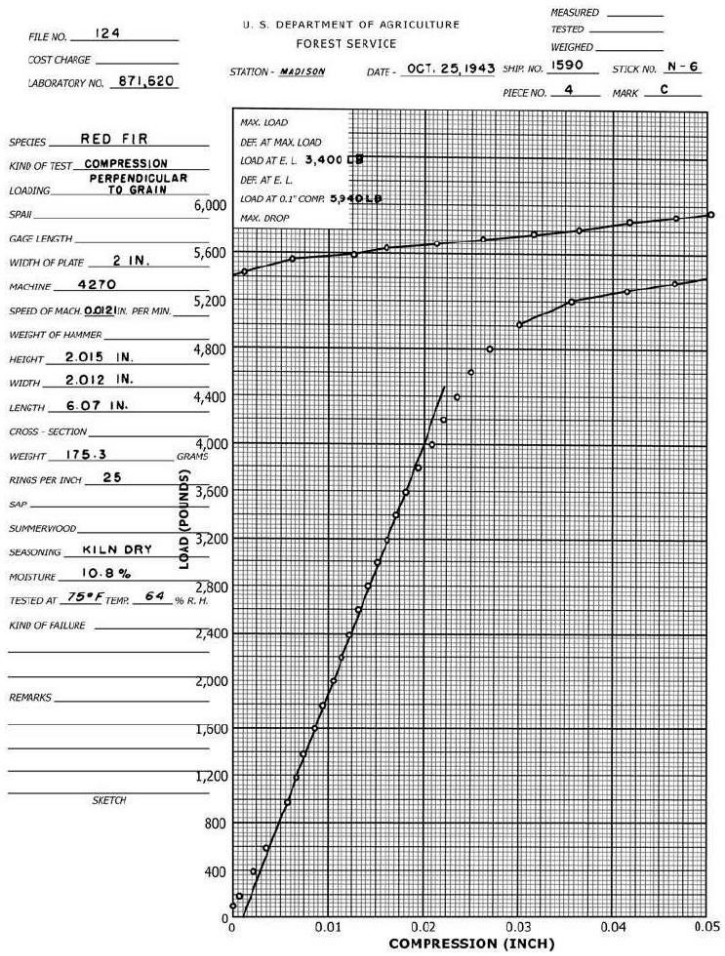


FIG. 18 Sample Data Sheet for Compression-Perpendicular-to-Grain Test

general, nails should not be driven closer than ¾ in. (19 mm) from the edge or 1½ in. (38 mm) from the end of a piece. The two nails on a radial or tangential face should not be driven in line with each other or less than 2 in. (50 mm) apart.

18.3 *Procedure*—Withdraw all six nails in a single specimen immediately after driving. Fasten the specimens during the test in grips as shown in Figs. 36 and 37. Observe the maximum load only (Note 18).

NOTE 18—See Fig. 38 for sample nail-withdrawal test data sheet form.

18.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.075 in. (2 mm)/min (see 22.3).

18.5 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before driving the nails. After the test, a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut from specimen (see 21.1 and 22.1).

19. Specific Gravity and Shrinkage in Volume (Note 19)

NOTE 19—Other test methods for determining specific gravity using specimens of different shape, size, and moisture content are found in Test Methods D2395.

19.1 *Size of Specimens*—The specific gravity and shrinkage in volume tests shall be made on green 2 by 2 by 6 in. (50 by 50 by 150 mm) specimens. The actual cross-sectional dimensions and length shall be measured (see 22.2).

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

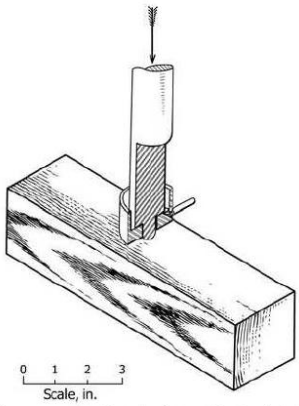


FIG. 19 Diagrammatic Sketch of Test Method of Conducting Hardness Test

19.2 *Procedure:*

19.2.1 Obtain both specific gravity and shrinkage-in-volume determinations on the same specimen. Make these determinations at approximately 12 % moisture content and at the oven-dry condition (Test Methods D2395).

19.2.2 A carbon impression of the end of the green specimen may be made on the back of the data sheet (Note 20). In like manner, a carbon impression of the same end may be made after the specimen has been conditioned.

NOTE 20—See Fig. 39 for a sample data and computation sheet for the specific gravity and shrinkage-in-volume test.

19.2.3 Weigh the specimen when green (see 22.1) and determine the volume by the immersion test method in accordance with the procedures of Test Methods D2395.

19.2.4 Open-pile the green specimens after immersion and allow them to air-season under room conditions to a uniform moisture content of approximately 12 %. The specimens should then be weighed and the volume determined by the immersion method.

19.2.5 Then, open-pile the specimens used for specific gravity and shrinkage determinations at 12 % moisture content, or duplicate specimens on which green weight and volume measurements have been made prior to conditioning to approximately 12 % moisture content in an oven. Dry at 103 ± 2°C until approximately constant mass is reached (Test Methods D4442).

19.2.6 After oven-drying, weigh the specimens (see 22.1) and while still warm, immerse them in a hot paraffin bath, taking care to remove them quickly to ensure a thin coating.

19.2.7 Determine the volume of the paraffin-coated specimen by immersion as before.

19.2.8 Fig. 40 illustrates the apparatus used in determining the specific gravity and shrinkage in volume. The use of an automatic balance will facilitate increased rapidity and accuracy of measurements.

20. Radial and Tangential Shrinkage

20.1 *Size of Specimens*—The radial and tangential shrinkage determinations shall be made on green 1 by 4 by 1-in. (25 by 100 by 25-mm) specimens cut from 1 by 4-in. (25 by 100-mm) boards, edge grain and flat grain, respectively.

20.2 *Initial Measurement*—The length of all specimens shall be measured.

20.3 *Weight*—The specimen shall be weighed when green and after subsequent oven-drying (see 21.1).

20.4 *Drying:*

20.4.1 The green specimens shall be open-piled and allowed to air-season under room conditions to a uniform moisture content of approximately 12 %.

20.4.2 After weighing and measuring, the specimens shall then be open-piled in an oven and dried at 103 ± 2°C until approximately constant mass is attained (Test Methods D4442).

20.5 *Final Measurement*—Measurements of mass and length shall be made on the oven-dry specimens (see Note 21).

NOTE 21—See Fig. 41 for a sample data and computation sheet for the radial and tangential-shrinkage test.

20.6 *Test Method of Measurement*—Fig. 42 illustrates the test method for making the radial and tangential shrinkage measurements. An ordinary micrometer of required accuracy is suitable for this work (see 22.2).

21. Moisture Determination

21.1 *Selection*—The sample for moisture determinations of each test specimen shall be selected as described for each test.

21.2 *Weighing*—Immediately after obtaining the moisture sample, all loose splinters shall be removed and the sample shall be weighed (see 22.1).

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

HARDNESS

STATION — Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT Str. 1L SEASONING GREEN MEASURED BY

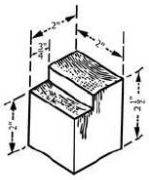
COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.244 WEIGHED BY

LABORATORY NOS. 268,281A-290A MACHINE NO. 4,271 TESTED BY

DATE JAN. 31, 1951 TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 54 %

STICK NO.	DIMENSIONS L" × H" × W"	WEIGHT GM.	MOIST. %	SP. GR.	HARDNESS RADIAL SURFACE LB.	HARDNESS TANGENTIAL SURFACE LB.	HARDNESS END SURFACE LB.	REMARKS	SKETCH
23-N-7-C	6.02×1.996×1.994	241.3	47.5	.416	530	470	465		
					500	515	530		
				AVERAGE	515	492	498		
				AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL	504				
				AVERAGE					
				AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					
23-E-8-C	6.04×1.992×1.992	273.3	71.1	.406	370	455	510		
					415	435	555		
				AVERAGE	392	445	532		
				AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL	418				
				AVERAGE					
				AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					
				AVERAGE					
				AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					
				AVERAGE					
				AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					
				AVERAGE					
				AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					
				AVERAGE					
				AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					
				AVERAGE					
				AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					
				AVERAGE					
				AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					

FIG. 20 Sample Data and Computation Sheet for Hardness Test



Metric Equivalents			
in.	¾	2	2½
mm	20	50	63

FIG. 21 Shear-Parallel-to-Grain Test Specimen

21.3 *Drying*—The moisture samples shall be open-piled in an oven and dried at a temperature of 103 ± 2°C until approximately constant mass is attained, after which the oven-dry mass shall be determined.

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

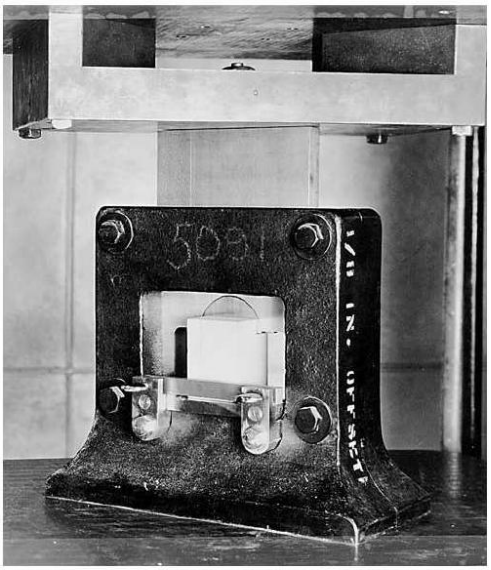


FIG. 22 Shear-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application Through Adjustable Seat to Provide Uniform Lateral Distribution of Load

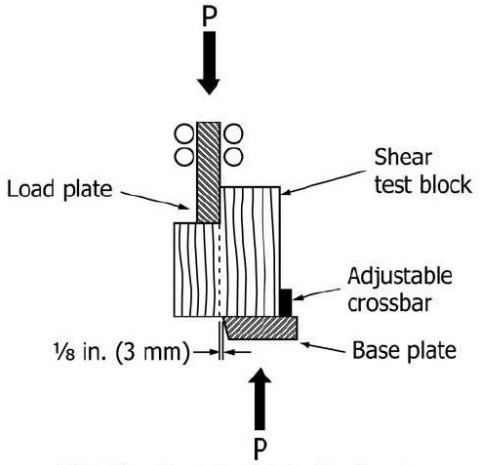


FIG. 23 Shear Parallel to Grain Test Configuration

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

SHEAR

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT Str. IL SEASONING GREEN MEASURED BY

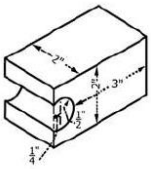
COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.0215 WEIGHED BY

LABORATORY NOS. 267,024A-029A MACHINE NO. 4,271 TESTED BY

DATE JAN. 16, 1951 TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 64 %

STICK NO.	SHEARING SURFACE	SHEARING AREA L" × W"	MAXIMUM LOAD LB.	SHEARING STRENGTH P.S.I.	MOISTURE CONTENT %	REMARKS	SKETCH
22-N-2-d	R.	2.016 X 2.000	2770	687	40.1		
22-N-6-d	T.	2.020 X 1.998	2775	688	41.1		

FIG. 24 Sample Data and Computation Sheet for Shear-Parallel-to-Grain Test



Metric Equivalents				
in.	¼	½	2	3
mm	6	13	50	76

FIG. 25 Cleavage Test Specimen

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

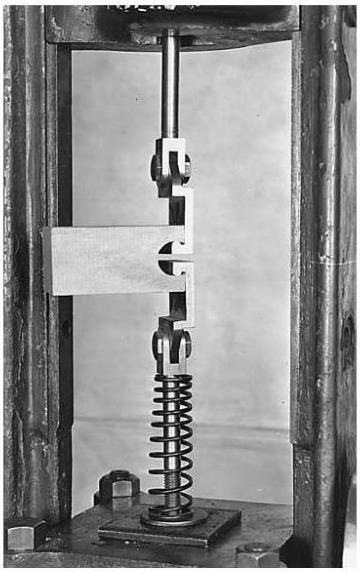
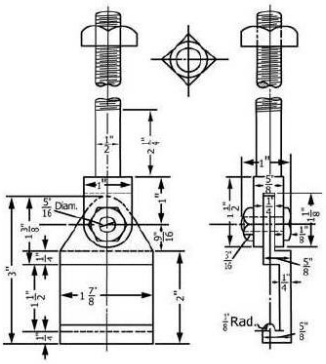


FIG. 26 Cleavage Test Assembly



Two pieces included in one set:
One piece with shank 8 in. long.
One piece with shank 5½ in. long.

Metric Equivalents

in.	mm	in.	mm
1/8	3	1 3/8	35
3/16	4.8	1½	38
1/4	6	1 7/8	48
5/16	8	2	50
½	13	2¼	57
9/16	14	3	76
5/8	16	5½	140
1	25	8	200
1 1/8	28		

FIG. 27 Design Details of Grips for Cleavage Test

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

CLEAVAGE

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1.651

PROJECT Str. 14 SEASONING GREEN MEASURED BY

COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.1110 WEIGHED BY

LABORATORY NOS. 267,036A-041A MACHINE NO. 4269 TESTED BY

DATE JAN. 17, 1951 TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 64%

STICK NO.	CLEAVAGE SURFACE	CLEAVAGE AREA L" × W"	MAXIMUM LOAD LB.	LOAD PER INCH OF WIDTH LB.	MOISTURE CONTENT %	REMARKS	SKETCH
22-N-6-D	R.	3.03 x 2.005	315	157	36.9		
22-N-6-D	T.	3.03 x 2.007	330	165	38.5		

FIG. 28 Sample Data and Computation Sheet for Cleavage Test

21.4 *Moisture Content*—The loss in mass, expressed in percent of the oven-dry mass as determined, shall be considered the moisture content of the specimen.

22. Mass and Permissible Variations

22.1 *Mass*—The mass of test specimens and of moisture samples shall be determined to an accuracy of not less than 0.2 %.

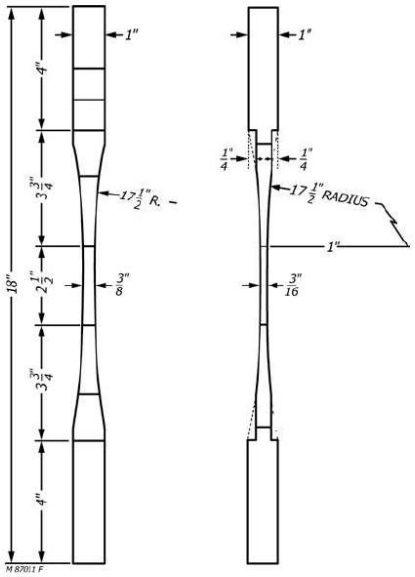
22.2 *Measurements*—Measurements of test specimens shall be made to an accuracy of not less than 0.3 %, except that in no case shall the measurements be made to less than 0.01 in. (0.25 mm). However, measurements of radial and tangential shrinkage specimens shall be made to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).

22.3 *Testing Machine Speeds*—The testing machine speed used should not vary by more than 25 % from that specified for a given test. If the specified speed cannot be obtained, the speed used shall be recorded on the data sheet. The crosshead speed shall mean the free-running or no-load speed of crosshead for testing machines of the mechanical drive type and the loaded crosshead speed for testing machines of the hydraulic loading type.

23. Calibration

23.1 All load measurement equipment used in obtaining data shall be calibrated to ensure accuracy in accordance with Practices E4.

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.



Metric Equivalents									
in.	3/16	1/4	3/8	1	2½	3¾	4	17½	18
mm	4.8	6.3	9.5	25	63	95	100	444	460

FIG. 29 Tension-Parallel-to-Grain Test Specimen

24. Precision and Bias

24.1 Statements of precision and bias for the tests have not yet been developed.

25. Keywords

25.1 clear specimens; small clear specimens; timber; wood

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

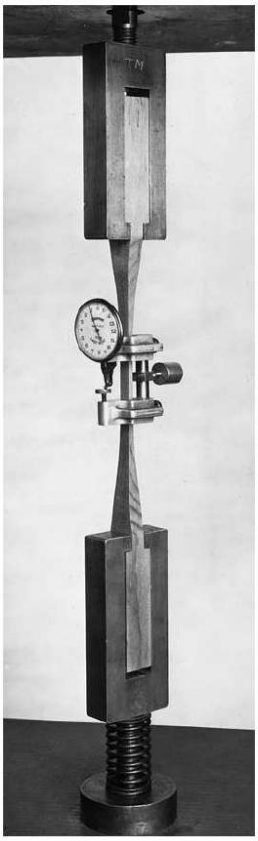


FIG. 30 Tension-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Grips and Use of 2 in. (50-mm) Gage Length Extensometer for Measuring Deformation

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

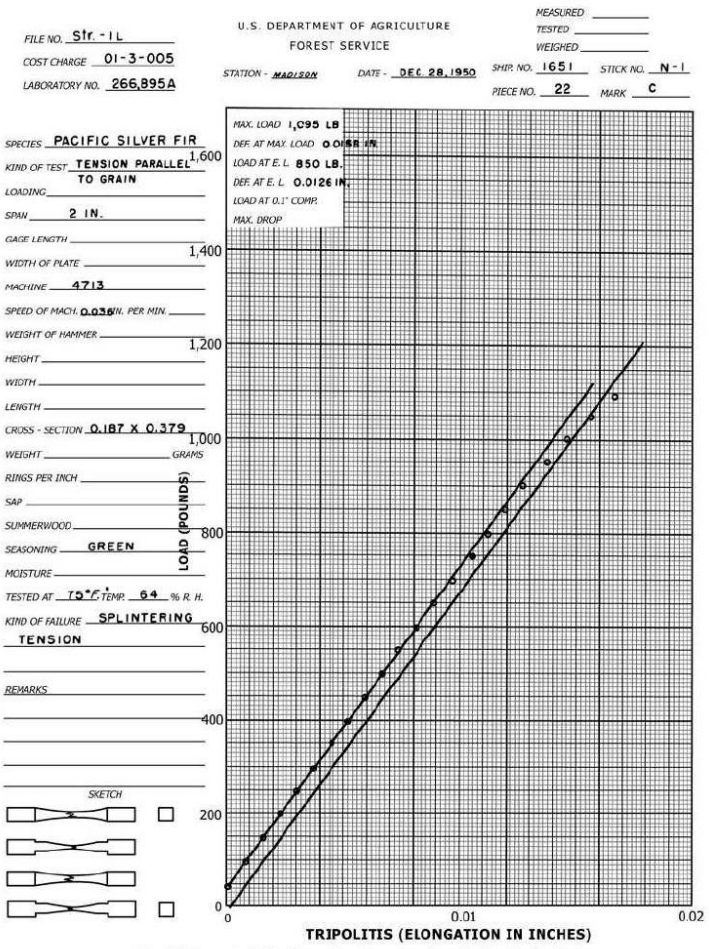
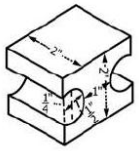


FIG. 31 Sample Data Sheet for Tension-Parallel-to-Grain Test



Metric Equivalents				
in	¼	½	1	2
mm	6	13	25	50

FIG. 32 Tension-Perpendicular-to-Grain Test Specimen

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

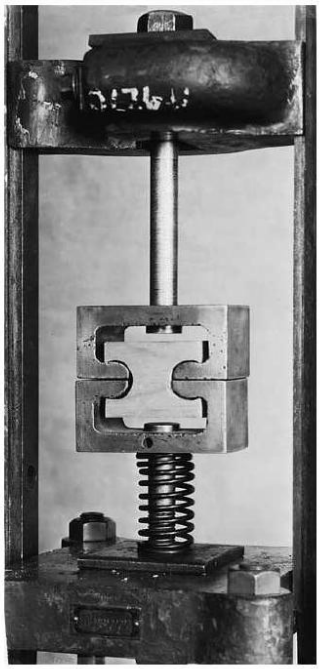
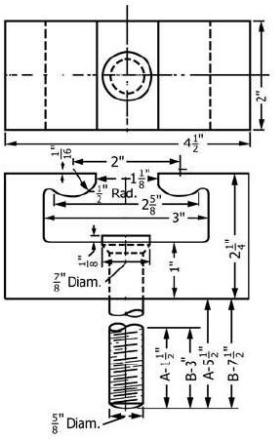


FIG. 33 Tension-Perpendicular-to-Grain Test Assembly



Two pieces included in one set:
One marked A.
One marked B.
Scale-Full Size

Metric Equivalents

in.	mm	in.	mm
1/16	1.6	2	50
1/8	3.2	2¼	57
½	13	2⅝	67
⅝	16	3	76
⅞	22	4½	114
1	25	5½	140
1⅛	29	7½	190
1½	38		

FIG. 34 Design Details of Grips for Tension-Perpendicular-to-Grain Test

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

TENSION PERPENDICULAR TO GRAIN

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT Str. IL SEASONING GREEN MEASURED BY

COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.1080 WEIGHED BY

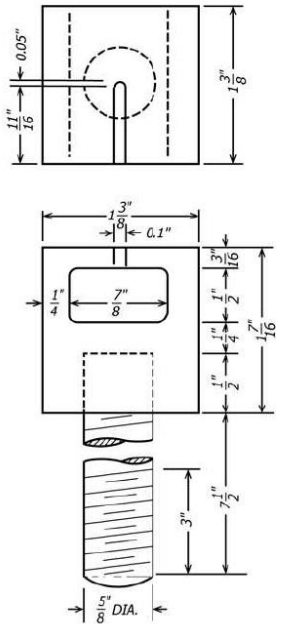
LABORATORY NOS. 267048A-053A MACHINE NO. 4,713 TESTED BY

DATE JAN. 16, 1951 TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 64 %

STICK NO.	TENSION SURFACE	TENSION AREA L" x W"	MAXIMUM LOAD LB.	TENSILE STRENGTH P.S.I.	MOISTURE CONTENT %	REMARKS	SKETCH
22-N-6-d	R.	0.98 X 2.011	575	292	33.0		
22-N-6-d	T.	1.00 X 2.001	635	317	32.4		

FIG. 35 Sample Data and Computation Sheet for Tension-Perpendicular-to-Grain Test

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.



Metric Equivalents			
in.	mm	in.	mm
0.05	1.3	11/16	7.5
0.1	2.5	7/8	22
3/16	4.8	1 3/8	35
1/4	6.3	1 7/16	36
1/2	13	3	76
5/8	16	7 1/2	190

FIG. 36 Design Details of Grip for Nail Withdrawal Test

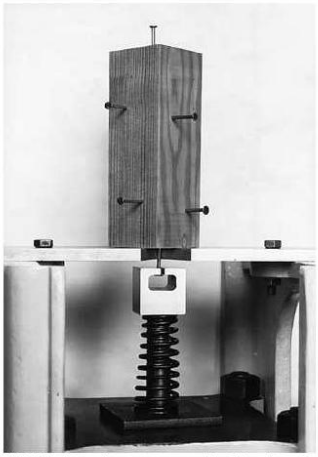


FIG. 37 Nail Withdrawal Test Assembly Showing Specimen in Position for Withdrawal of Nail Driven in One End of the Specimen

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

NAIL WITHDRAWAL

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT Str. 1L SEASONING GREEN MEASURED BY

COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.071 WEIGHED BY

LABORATORY NOS. 270,270A-278A MACHINE NO. 4269 TESTED BY

DATE FEB. 2, 1951 NAILS, TYPE 7d PLAIN (SINKER) DRIVEN 1½" TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 64 %

STICK NO.	DIMENSIONS L" x H" x V"	WEIGHT GM	MOIST. %	SP. GR.	WITHDRAWAL LOADS: RADIAL SURFACE LB.	TANGENTIAL SURFACE LB.	END SURFACE LB.	REMARKS	SKETCH
23-N-5-c	6.05 x 1.990 x 1.989	326.4	77.7	.468	180	205	105		
					175	200	110		
				AVERAGE	178	202	108		
23-N-7-d	6.02 x 1.996 x 1.994	241.3	47.5	.416	180	175	110		
					185	155	75		
				AVERAGE	182	165	92		
				AVERAGE					
				AVERAGE					
				AVERAGE					
				AVERAGE					
				AVERAGE					
				AVERAGE					
				AVERAGE					
				AVERAGE					

FIG. 38 Sample Data and Computation Sheet for Nail Withdrawal Test

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

SPECIFIC GRAVITY AND VOLUMETRIC SHRINKAGE

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT Str. IL MEASURED BY

COST CHARGE 01-3-005 WEIGHED BY

LABORATORY NOS. 267,060A-065A VOLUME BY

DATE

STICK NO.	DIMENSIONS L" × H" × W"	SEASONING	DATE	RINGS PER INCH	SAP %	SUMMER-WOOD %	WEIGHT GM.	MOISTURE %	VOLUME C.C.	/. SPECIFIC GRAVITY	WEIGHT POUNDS PER CUBIC FOOT	VOLUMETRIC* SHRINKAGE %
22-N-4-C	6.05 X 2.001	GREEN	1-9-'51	18	0		201.3	34.3	393.8	.381		
	2.002	OVEN-DRY	6-19-'51				149.9	0	332.1	.451	28.1	15.7
REMARKS		AIR-DRY	6-13-'51				168.0	12.07	360.3	.415		
REMARKS												
22-S-5-C	6.03 X 2.004	GREEN	1-9-'51	17	0		223.1	55.5	392.0	.366		
	X 2.001	OVEN-DRY	6-19-'51				143.5	0	334.2	.429	26.8	14.7
REMARKS		AIR-DRY	6-13-'51				160.9	12.13	360.9	.398		
REMARKS												
REMARKS												
REMARKS												
REMARKS												
REMARKS												
REMARKS												
REMARKS												
REMARKS												

* BASED ON ORIGINAL VOLUME (GREEN, AIR-DRY OR KILN-DRY). NOTE: USE BACK OF SHEET FOR CARBON IMPRESSIONS.

/. BASED ON WEIGHT WHEN OVEN-DRY

FIG. 39 Sample Data and Computation Sheet for Specific Gravity and Shrinkage-in-Volume Test

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

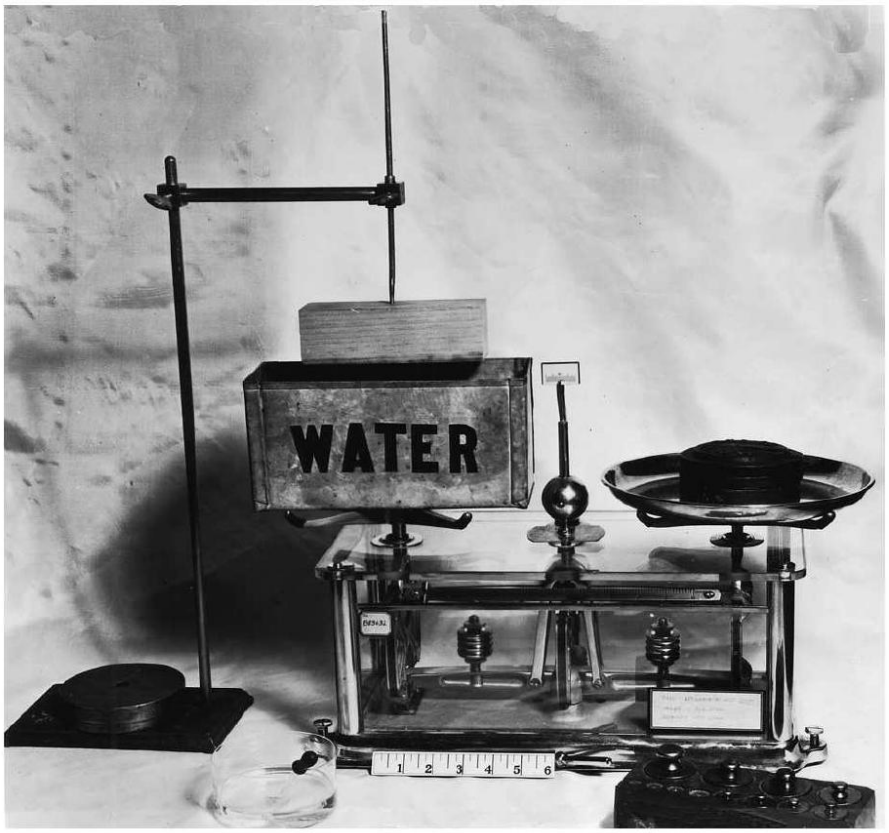


FIG. 40 Specific Gravity and Shrinkage-in-Volume Test Set-Up

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

SHRINKAGE - RADIAL AND TANGENTIAL

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT Str. 1L MEASURED BY

COST CHARGE 01-3-005 WEIGHED BY

LABORATORY NOS. 266,857A-864A

DATE

STICK NO.	NOMINAL SIZE L" x H" x W"	SHRINKAGE DIRECTION	SEASONING	DATE	RINGS PER INCH	SAP %	SUMMERWOOD %	WIDTH IN.	WEIGHT GM.	MOISTURE %	SHRINKAGE* %
22-2-CO	1 x 1 x 4	R.	GREEN	12/26/50	17	15		3.997	35.50	52.5	
			AIR-DRY								
			OVEN-DRY	4/6/51				3.784	23.28		5.3
REMARKS											
22-2-CO	1 x 1 x 4	T.	GREEN	12/26/50	12	10		3.995	40.00	77.8	
			AIR-DRY								
			OVEN-DRY	4/6/51				3.602	22.50		9.8
REMARKS											
			GREEN								
			AIR-DRY								
			OVEN-DRY								
REMARKS											
			GREEN								
			AIR-DRY								
			OVEN-DRY								
REMARKS											
			GREEN								
			AIR-DRY								
			OVEN-DRY								
REMARKS											
			GREEN								
			AIR-DRY								
			OVEN-DRY								
REMARKS											
			GREEN								
			AIR-DRY								
			OVEN-DRY								
REMARKS											
			GREEN								
			AIR-DRY								
			OVEN-DRY								
REMARKS											
			GREEN								
			AIR-DRY								
			OVEN-DRY								
REMARKS											
			GREEN								
			AIR-DRY								
			OVEN-DRY								
REMARKS											

* BASED ON GREEN WIDTH.

FIG. 41 Sample Data and Computation Sheet for Radial- and Tangential-Shrinkage Tests

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.



FIG. 42 Radial- and Tangential-Shrinkage Test Assembly

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/

Este documento forma parte de la biblioteca de ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, adquirido el 17/11/2017.

E. ANEXO "E": NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 896:2013

Instituto Ecuatoriano de Normalización

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA **NTE INEN 896:2013**
Segunda revisión

TABLEROS DE MADERA AGLOMERADA, CONTRACHAPADA Y DE FIBRAS DE MADERA (MDF). DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Primera edición

PLYWOOD AND W OOD FIBERS BOARDS. DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT

First edition

DESCRIPTORES: Maderas, tableros, madera aglomerada, contrachapada, fibras, determinación, humedad.
AG 08.01-302
CDU: 674.06
CIIU: 3311
ICS: 79.060.10

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	TABLEROS DE MADERA AGLOMERADA, CONTRACHAPADA Y DE FIBRAS DE MADERA (MDF) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	NTE INEN 896:2013 Segunda revisión 2013-06

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método para determinar el contenido de humedad de los tableros de madera aglomerada, contrachapada y de fibras de madera (MDF).

2. DISPOSICIONES GENERALES.

2.1 Estimación del contenido de humedad de un lote de tablero.

2.1.1 El contenido de humedad de un tablero de un lote de tableros de madera aglomerada, contrachapada y de fibras de madera (MDF), se obtendrá calculando la media aritmética del contenido de humedad de todas las piezas de ensayo que conforman el lote de éstos.

3. METODO DE ENSAYO

3.1 Fundamento

3.1.1 La pieza de ensayo debe someterse a secado hasta obtener una masa constante a una temperatura normalizada.

3.2 Equipos

3.2.1 *Balanza*, con una sensibilidad de 0,01g.

3.2.2 *Estufa de secado*, capaz de mantener una temperatura de 103± 2°C con ventilación.

3.2.3 *Desecador*, que debe contener gel de silice, para mantener el aire lo más cerca posible a la condición de absolutamente seco.

3.3 Preparación de la muestra

3.3.1 *Toma de muestras*. El muestreo de las piezas de ensayo será de acuerdo a lo establecido en la NTE INEN 900.

3.3.2 *Masa y dimensiones*. Realizar la prueba en piezas de ensayo de cualquier forma y dimensión con un área total de 100 cm^2 y una masa mínima de 20 g acondicionadas como se indica en la NTE INEN 895.

3.4 Procedimiento

3.4.1 *Peso antes del secado*

3.4.1.1 Pesar o medir la masa la pieza de ensayo inmediatamente después del muestreo, con una aproximación de 0,01 g caso contrario se podría modificar su contenido de humedad inicial.

3.4.2 *Secado*

3.4.2.1 Una vez obtenida la masa de la pieza de ensayo introducirla en la estufa, donde se mantiene 103± 2 °C, hasta que alcance masa constante que se comprueba pesándola periódicamente hasta que el resultado de dos pesadas sucesivas no difieran en más del 1%.

3.4.3 *Peso después del secado*

(Continúa)

DESCRIPTORES: Maderas, tableros, madera aglomerada, contrachapada, fibras, determinación, humedad.

3.4.3.1 Enfriar las piezas de ensayo en el desecador a temperatura ambiente, pesar cada una de las piezas de ensayo, con la rapidez necesaria para evitar un aumento en el contenido de la humedad.

3.5 Cálculos

3.5.1 El porcentaje del contendió de humedad CH, de cada pieza de ensayo, debe calcularse lo más aproximado a 0,1% mediante la ecuación siguiente:

$$CH = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100$$

En donde

m_0 = masa de la pieza de ensayo antes del secado, en gramos.

m_1 = masa de la pieza de ensayo después del secado, en gramos.

3.6 Expresión de resultados

3.6.1 La pérdida de la masa de la pieza de ensayo, se determinará entre los estados, antes y después del secado.

3.7 Informe de resultados

3.7.1 El informe de este ensayo deberá contener, la siguiente información:

a) Nombre y dirección del laboratorio de ensayo.

b) Informe del muestreo de acuerdo con la NTE INEN 900

c) Fechas del ensayo y del informe

d) Referencia a esta norma

e) Tipo y espesor del tablero

f) Especificaciones correspondientes del producto

g) Tratamiento de la superficie si es importante

h) Equipo especifico usado, en caso de diferentes posibilidades permitidas en esta norma

i) Resultados expresados,

j) Todas las desviaciones de esta norma que puedan ocurrir

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 895	*Tableros de madera aglomerada, contrachapada y de fibra de madera (MDF). Determinación de las dimensiones de las probetas.*
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 900	*Tableros de madera contrachapada. Requisitos*

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma ISO 16979:2003. *Wood-based panels. Determination of moisture content.* International Organization for Standardization. Geneva. 2003.

Norma Colombiana NTC 698:2003. *Madera Contrachapada.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. Bogotá 2003.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento:	TÍTULO: TABLEROS DE MADERA AGLOMERADA, CONTRACHAPADA Y DE FIBRAS DE MADERA (MDF). DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	Código:
NTE INEN 896 Segunda revisión		AG: 08.01-302

ORIGINAL:	REVISIÓN:
Fecha de iniciación del estudio:	Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 2005-08-25 Oficialización con el Carácter de Voluntaria por Acuerdo Ministerial No. 05785 de 2005-09-30 publicado en el Registro Oficial No. 127 de 2005-10-18 Fecha de iniciación del estudio: 2012-07-18

Fechas de consulta pública: 2012-11-22 a 2012-12-22

Subcomité Técnico:
Fecha de iniciación: Fecha de aprobación:
Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:	INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

Mediante compromiso presidencial N° 16364, el Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN, en vista de la necesidad urgente, resuelve actualizar el acervo normativo en base al estado del arte y con el objetivo de atender a los sectores priorizados así como a todos los sectores productivos del país.

Para la revisión de esta Norma Técnica se ha considerado el nivel jerárquico de la normalización, habiendo el INEN realizado un análisis que ha determinado su conveniente aplicación en el país.

La Norma en referencia ha sido sometida a consulta pública por un periodo de 30 días y por ser considerada EMERGENTE no ha ingresado a Subcomité Técnico.

Otros trámites: Esta NTE INEN 896c2013 (Segunda revisión), reemplaza a la NTE INEN 896: 2005 (Primera revisión)

La Subsecretaria de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como: Voluntaria Por Resolución No. 13229 de 2013-05-05
Registro Oficial No. 23 de 2013-06-26

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail:direccion@inen.gob.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail:normalizacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail:certificacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail:verificacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail:ineniaboratorios@inen.gob.ec
Regional Guayas: E-Mail:inenguayas@inen.gob.ec
Regional Azuay: E-Mail:inencuenca@inen.gob.ec
Regional Chimborazo: E-Mail:inenriobamba@inen.gob.ec
URL:www.inen.gob.ec

F. ANEXO “F”: NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-SE-MD- ESTRUCTURAS DE MADERA



5. Diseño estructural

5.1. Consideraciones generales de diseño

5.1.1. Condiciones de resistencia y de rigidez

Se respetarán los requisitos, métodos de análisis y calculo, bien como recomendaciones del Manual de Diseño de la JUNAC, en particular en sus **capítulos 7 a 12**.

Además, el apéndice informativo **6.4** ilustra las solicitaciones mecánicas a ser tomadas en cuenta, con referencias al Manual de Diseño de la JUNAC.

5.1.2. Condiciones para madera estructural

La madera empleada en estructuras reunirá las siguientes condiciones:

- Debe ser material clasificado como de calidad estructural, conforme a la sección **3.8**;
- Debe provenir de especies maderables correspondientes a cualquiera de los tres Grupos Estructurales (A, B o C) definidos en la sección **5.3**;
- Deben ser piezas de madera dimensionadas de acuerdo a las secciones más usuales;
- Usar madera seca con un contenido de humedad máxima del 19% o del 12% si se trata de madera laminada;
- La madera estructural debe ser de buena durabilidad natural, o, en su defecto, debe ser preservada adecuadamente.
- Los elementos metálicos de las uniones deberán llevar pintura anticorrosiva o en su defecto protección de zincado, si así se especifica en el diseño.

Por fin, salvo casos se puede demostrar lo contrario, el diseño reflejará la no rigidez de las uniones.

5.1.3. Elementos estructurales

El Manual de Diseño de la JUNAC organiza la parte de diseño respecto al dimensionamiento de elementos estructurales siguientes:

- Vigas, viguetas y entablados
- Columnas y entramados
- Muros de corte
- Armaduras ligeras

Se verificarán, según los elementos o sistemas:

- Flexión (tracción y compresión generadas por el propio fenómeno)

- Compresión
- Corte
- Compresión perpendicular
- Flexo compresión
- Flexo tracción
- Deflexión
- Estabilidad

5.1.4. Madera laminada

El diseñador se podrá referir a la sección G.9.5 (MADERA LAMINADA) del título G de la NSR 2010.

5.2. Cargas

Las estructuras de madera deben diseñarse para resistir:

- Las cargas muertas,
- Las cargas vivas
- Las cargas por sismo

El diseñador se referirá a la NEC-SE-CG.

5.3. Clasificación estructural de las maderas

5.3.1. Clasificación por densidad básica

Se agruparon las 105 maderas tropicales estudiadas en 3 grupos estructurales, dependiendo de su densidad básica (DB):

- "A": DB entre 0.71 y 0.90
- "B": DB entre 0.56 y 0.70
- "C": DB entre 0.40 y 0.55.

Respecto a estas clases, se definen las propiedades de resistencia y rigidez definidas más adelante.

5.3.2. Esfuerzos admisibles

Para el diseño estructural deberá usarse los esfuerzos admisibles que consta el Manual de Diseño de la JUNAC. Son consecuencia de un proceso de ensayos con maderas de la Subregión. Los valores indicados están respaldados por un número grande de repeticiones.

Debe tenerse presente que los valores referidos son válidos para madera ESTRUCTURAL, que cumple en su totalidad con la Norma de Clasificación Visual, que se encuentra en el capitulo 13 del Manual mencionado.

Es responsabilidad del calculista especificar madera que cumpla con la Norma de clasificación visual; igualmente se supervisará que la madera que se está usando en la obra cumple con la mencionada norma. Véase el Manual De Clasificación Visual, publicado por la JUNAC.

El Manual de Diseño de la JUNAC constan tres grupos para madera estructural "A", "B" y "C". Nuevas especies de madera cuyas densidades básicas se conozcan, se pueden incluir en uno de los grupos estructurales que corresponda.

ESFUERZOS ADMISIBLES[4] (MPa)					
Grupo	Flexión	Tracción paralela	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte paralelo
	f_m	f_t	f_c	$f_{c\perp}$	f_v
A	21	14.5	14.5	4	1.5
B	15	10.5	11	2.8	1.2
C	10	7.5	8	1.5	0.8

Tabla 5: Esfuerzos admisibles para la madera (MPa)

*Estos esfuerzos son indicados para madera húmeda, y pueden ser usados para madera seca.

NOTA: se podrán usar datos de investigaciones realizadas con las maderas de la zona andina, tales como los producidos por la Universidad de Medellín.

5.3.3. Módulo de elasticidad

Los valores del módulo de elasticidad o módulo de Young **E** para los tres grupos estructurales, que constan en el Manual, serán los que se usarán para el dimensionamiento de elementos en flexión, y para elementos en compresión y tracción paralelos a las fibras.

Se incluyen dos valores para "**E**":

- E_{min} ($E_{0.05}$): valor mínimo, que será válido para el cálculo de elementos individuales tales como vigas o columnas
- $E_{promedio}$: valor promedio, adecuado para el diseño de elementos en los que exista una acción de conjunto, por ejemplo en viguetas para entablados y pies derechos en tabiques y/o entramados.

[4] Estos valores son indicados para madera húmeda, y pueden ser usados para madera seca

MODULO DE ELASTICIDAD[5] (MPa)		
Grupo	E_{min} ($E_{0.05}$)	$E_{promedio}$
A	9500	13000
B	7500	10000
C	5500	90000

Tabla 6: Modulo de elasticidad para la madera (MPa)

5.3.4. Factores de reducción de resistencia

Se definen 4 coeficientes de reducción de resistencia:

- FC: Factor de reducción por calidad (permite tomar en cuenta las reducciones por defectos - véase norma de clasificación visual - y por tamaño)

FS: Factor de servicio y seguridad (permite tomar en cuenta varias incertidumbres - conocimiento de las propiedades del material, defectos no detectados, tipo de falla frágil o dúctil, dimensiones reales, etc.).

- FT: Factor de reducción por tamaño (permite tomar en cuenta la disminución del esfuerzo de rotura a flexión para secciones de mayo tamaño)
- FDC: Factor de duración de carga (permite tomar en cuenta que los esfuerzos de rotura de la madera disminuyen con la duración de aplicación de la carga)

Estos factores varían según el tipo de solicitación. Se determinaran mediante las tablas de la sección 7.4 del Manual de Diseño de la JUNAC (PARTE II).

5.4. Uniones

5.4.1. Alcance

Las prescripciones de este capítulo se refieren a uniones clavadas y enclavadas. Se aceptan otro tipo de uniones siempre y cuando los fabricantes y constructores cumplan con las normas aceptadas internacionalmente.

La unión entre los elementos de madera requiere especial atención, para el cual existen diferentes procedimientos.

El diseñador se referirá al capitulo 12 del Manual de Diseño de la JUNAC, que trata de:

- Uniones clavadas,
- Uniones enclavadas.

NOTA: dependiendo de las condiciones de servicio, en particular la exposición a las intemperies, se deberán usar uniones metálicas con tratamiento anti-corrosivo.

[5] Estos valores son indicados para madera húmeda, y pueden ser usados para madera seca

G. ANEXO "G": CÁLCULO TÍPICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE CIPRÉS

- **Ejemplo de cálculo a Flexión perpendicular a la fibra:**

Datos:

$$Pmáx: 2063.26\ N$$

$$P' = 930.58\ N$$

$$\Delta = 4.65\ mm$$

$$l = 360\ mm$$

$$b = 25\ mm$$

$$d = 25\ mm$$

Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional (MPa):

$$MOR = \frac{3P'L}{2bd^2}$$

$$MOR = \frac{3 * 930.58\ N * 360\ mm}{2 * 25\ mm * (25\ mm)^2}$$

$$MOR = 32.161\ MPa$$

Módulo de Ruptura (MPa):

$$SR = \frac{3P_{máx}L}{2bd^2}$$

$$SR = \frac{3 * 2063.26\ N * 360\ mm}{2 * 25\ mm * (25\ mm)^2}$$

$$SR = 71.306\ MPa$$

Módulo de Elasticidad Aparente (MPa):

$$E_{app} = \frac{PL^2}{4bd^3\delta}$$

$$E_{app} = \frac{930.58 * (360\ mm)^2}{4 * 25\ mm * (25\ mm)^3 * 4.65\ mm}$$

$$E_{app} = 5975.692\ MPa$$

Esfuerzo Admisible (MPa):

$$E_{adm} = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} \times E_{ult}$$

$$E_{adm} = \frac{0.80 * 0.90}{2.00 * 1.25} \times 71.306\ MPa$$

$$E_{adm} = 22.322\ MPa$$

Factores de Reducción	
Factor de reducción por calidad	0.80
Factor de reducción por tamaño	0.90
Factor de servicio y seguridad	2.10
Factor de duración de carga	1.15

- **Ejemplo de cálculo a Tracción paralela a la fibra:**

Datos:

$$Pmáx = P' = 4998.84\ N$$

$$A = 9\ mm * 4.50\ mm * 40.50\ mm^2$$

$$\varepsilon = 0.00936\ mm/mm$$

Resistencia a la Tracción (MPa):

$$\sigma_t = \frac{Pmáx}{A}$$

$$\sigma_t = \frac{4998.84\ N}{40.50\ mm^2}$$

$$\sigma_t = 123.43\ MPa$$

Tensión en el límite proporcional (MPa):

$$\sigma'_t = \frac{Pmáx}{A}$$

$$\sigma'_t = \frac{4998.84\ N}{40.50\ mm^2}$$

$$\sigma'_t = 123.43\ MPa$$

Módulo de Elasticidad (MPa):

$$E_{axial} = \frac{\sigma'_t}{\varepsilon}$$

$$E_{axial} = \frac{10.023\ N}{0.00936\ mm/mm}$$

$$E_{axial} = 1070.83$$

Esfuerzo admisible (MPa):

$$Eadm = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} \times Eult$$

$$Eadm = \frac{123.43\ MPa}{2.10}$$

$$Eadm = 58.78\ Mpa$$

Factores de Reducción	
Factor de reducción por calidad	--
Factor de reducción por tamaño	--
Factor de servicio y seguridad	2.10
Factor de duración de carga	--