

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA Y FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA DE LA MADERA DE ARRAYÁN, PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)"

Trabajo de titulación modalidad trabajo experimental previo a la obtención del título de ingeniero civil

ESTUDIANTE:

Jonathan Alexander Paredes Villalva

TUTORA:

Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, 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 COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA Y FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA DE LA MADERA DE ARRAYÁN, PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)"**, elaborado por el estudiante Jonathan Alexander Paredes Villalva , portador de la cédula de ciudadanía número C.I.180542954-3, 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.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2025

.....

Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Jonathan Alexander Paredes Villalva**, con C.I. 180542954-3 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA Y FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA DE LA MADERA DE ARRAYÁN, PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON 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



.....

Jonathan Alexander Paredes Villalva

C.I. 180542954-3

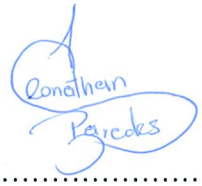
AUTOR

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



.....

Paredes Villalva Jonathan Alexander

C.I. 180542954-3

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante **Jonathan Alexander Paredes Villalva**, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA Y FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA DE LA MADERA DE ARRAYÁN, PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)".**

Ambato, febrero 2025

Para constancia firma:

.....	.....
Ing. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre, Mg.	Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Ángel y Mónica, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. Les dedico este logro con todo mi corazón, porque siempre estuvieron a mi lado brindándome ánimo, apoyo incondicional y aliento en cada paso de mi carrera. Sus sacrificios y enseñanzas me han permitido llegar hasta aquí. Este trabajo es tanto suyo como mío, y espero que les llene de orgullo.

A mi familia y amigos, quienes también formaron parte de este camino, gracias por su presencia y su apoyo constante. Cada palabra de aliento, cada gesto de ánimo y cada momento compartido fueron fundamentales para superar los desafíos que encontré en este recorrido.

Jonathan Alexander Paredes Villalva

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Ángel y Mónica, por ser la base sobre la que he construido cada uno de mis sueños. Gracias por su apoyo incondicional y por estar siempre a mi lado, brindándome fortaleza y ánimo en cada momento. Este logro es un reflejo del esfuerzo y los valores que me han inculcado, y por ello siempre les estaré eternamente agradecido.

Extiendo también mi agradecimiento a mi familia y amigos, quienes, con su compañía, palabras de aliento y respaldo han sido parte esencial de este proceso. Sus constantes muestras de apoyo fueron el motor que me impulsó a seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes.

De manera especial, quiero agradecer a mi tutora, la Ing. Mg. Myriam Marisol Bayas Altamirano, por su dedicación, orientación y paciencia durante el desarrollo de esta tesis. Su guía ha sido clave para llevar a cabo este proyecto con éxito. Su experiencia, consejos y compromiso con mi formación profesional han dejado una huella imborrable en mi vida académica y personal.

Jonathan Alexander Paredes Villalva

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
AGRADECIMIENTOS vii
ÍNDICE DE FIGURAS x
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE ANEXOS xv
RESUMEN EJECUTIVO xvi
ABSTRACT xvii
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO 1
I. JUSTIFICACIÓN 1
II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 2
III. OBJETIVOS 4
A. OBJETIVO GENERAL 4
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
CAPITULO II.- METODOLOGÍA 5
I. EQUIPOS Y MATERIALES 5
II. MÉTODOS 8
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 33
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 33
II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 67
A. HIPÓTESIS 68
B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS 68

CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 69

I. CONCLUSIONES 69

II. RECOMENDACIONES 71

BIBLIOGRAFÍA 72

ANEXOS 74

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Probetas para ensayos de flexión tracción y Compresión 6
Fig. 2 Dimensiones de la probeta para el ensayo de resistencia a tracción 7
Fig. 3 Ensayo a Tracción 8
Fig. 4 Ensayo a Flexión 8
Fig. 5 Ensayo a Compresión 8
Fig. 6 Dimensiones método secundario de la probeta para ensayo a flexión perpendicular 10
Fig. 7 Medidas de las probetas a tracción paralela 12
Fig. 8 Tipos de fallas en flexión estática 22
Fig. 9 Tipos de fallas en tracción 27
Fig. 10 Fallas por compresión paralela 31
Fig. 11 Modulo de elasticidad de los ensayos a flexión 57
Fig. 12 Esfuerzo Admisible de los ensayos a flexión 57
Fig. 13 Módulos de elasticidad sometidas a flexión perpendicular a la fibra de especies maderables 58
Fig. 14 Esfuerzos admisibles sometidas a flexión perpendicular a la fibra de especies maderables 59
Fig. 15 Modulo de elasticidad de los ensayos a tracción 61
Fig. 16 Esfuerzo Admisible de los ensayos a tracción 61
Fig. 17 Módulos de elasticidad sometidas a tracción paralela a la fibra de especies maderables 62
Fig. 18 Esfuerzos admisibles sometidas a tracción paralela a la fibra de especies maderables 63
Fig. 19 Modulo de elasticidad de los ensayos a compresión 65
Fig. 20 Esfuerzo Admisible de los ensayos a compresión 65
Fig. 21 Módulos de elasticidad sometidas a compresión paralela a la fibra de especies maderables 66
Fig. 22 Esfuerzos admisibles sometidas a compresión paralela a la fibra de especies maderables 67

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I NÚMERO DE PROBETAS A FLEXIÓN PERPENDICULAR Y TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA 6
TABLA II ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO A FLEXIÓN DE LA MADERA SEGÚN LA NORMA ASTM D143-94 6
TABLA III COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LOS CENTROS DE COMERCIALIZACIÓN DE MADERA 9
TABLA IV PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A FLEXIÓN 10
TABLA V IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A FLEXIÓN 11
TABLA VI PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCIÓN 13
TABLA VII IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCIÓN 14
TABLA VIII PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD 17
TABLA IX PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA 20
TABLA X FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA MADERA 24
TABLA XI PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA. 24
TABLA XII FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA MADERA 28
TABLA XIII PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA 28
TABLA XIV FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA MADERA 32
TABLA XV CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD AMBATO 33
TABLA XVI CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD SALASACA 33
TABLA XVII CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD TISALEO 33
TABLA XVIII CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD MOCHA 34

TABLA XIX DENSIDAD BÁSICA DE MADERA DE ARRAYÁN..... 34
TABLA XX CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A FLEXIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD AMBATO..... 35
TABLA XXI CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A FLEXIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD SALASACA..... 35
TABLA XXII CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A FLEXIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD TISALEO..... 36
TABLA XXIII CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A FLEXIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD MOCHA..... 36
TABLA XXIV CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A COMPRESIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD AMBATO..... 36
TABLA XXV CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A COMPRESIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD SALASACA..... 37
TABLA XXVI CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A COMPRESIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD TISALEO..... 37
TABLA XXVII CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A COMPRESIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD MOCHA..... 37
TABLA XXVIII CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A TRACCIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD AMBATO..... 38
TABLA XXIX CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A TRACCIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD SALASACA..... 38
TABLA XXX CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A TRACCIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD TISALEO..... 38
TABLA XXXI CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A TRACCIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD MOCHA..... 38
TABLA XXXII CARGAS Y DEFLEXIONES DE LA MADERA DE ARRAYÁN DE LAS CIUDADES AMBATO, MOCHA, TISALEO Y SALASACA..... 39
TABLA XXXIII ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE ARRAYÁN DE LAS CIUDADES AMBATO, TISALEO, MOCHA Y SALASACA..... 40
TABLA XXXIV MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa)..... 41
TABLA XXXV ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa)..... 43
TABLA XXXVI MÓDULO DE ELASTICIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DE ARRAYÁN..... 44

TABLA XXXVII TIPOS FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE ARRAYÁN POR EL ENSAYO A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA. 44
TABLA XXXVIII RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD DE AMBATO, TISALEO, MOCHA Y SALASACA 45
TABLA XXXIX MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa) 46
TABLA XL ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa) 48
TABLA XLI MÓDULO DE ELASTICIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DE ARRAYÁN 49
TABLA XLII TIPOS FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE ARRAYÁN POR EL ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA. 49
TABLA XLIII CARGAS, DESPLAZAMIENTOS Y DEFORMACIÓN UNITARIA DE LA MADERA DE ARRAYÁN DE LAS CIUDADES AMBATO, MOCHA, TISALEO Y SALASACA 50
TABLA XLIV ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA A LA COMPRESION, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE ARRAYÁN DE LAS CIUDADES AMBATO, TISALEO, MOCHA Y SALASACA 50
TABLA XLV MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa) 52
TABLA XLVI ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa) 54
TABLA XLVII MÓDULO DE ELASTICIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DE ARRAYÁN 54
TABLA XLVIII TIPOS FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE ARRAYÁN POR EL ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA. 55
TABLA XLIX MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE ARRAYÁN SOMETIDA A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA. 55
TABLA L CONTENIDO DE HUMEDAD, MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE MADERA ESTRUCTURAL ECUATORIANA SOMETIDA A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA. 57
TABLA LI MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE ARRAYÁN SOMETIDA A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA. 60

TABLA LII CONTENIDO DE HUMEDAD, MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE MADERA ESTRUCTURAL ECUATORIANA SOMETIDA A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA. 61
TABLA LIII MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE ARRAYÁN SOMETIDA A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA. 64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo ¨ A”: Fotografías ensayos y obtención de madera 74
Anexo ¨ B”: Norma ASTM D143-94 77
Anexo ¨ C": Norma Técnica Ecuatoriana INEN 896:2013 99
Anexo ¨ D": Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-MD - Estructuras de madera 105

RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo experimental se desarrolló con el objetivo de analizar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Arrayán proveniente de la provincia de Tungurahua, específicamente de las ciudades de Ambato, Salasaca, Tisaleo y Mocha, debido a que no existen investigaciones previas con datos palpables para comparar con otras especies de maderas y categorizarles como material estructural que puedan ser utilizados en beneficio de profesionales y pre-profesionales en el ámbito constructivo.

En la primera fase, se recolectó madera de Arrayán de estas localidades y se elaboraron probetas siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D143-94. Para garantizar la calidad y uniformidad de los resultados, se seleccionaron piezas libres de defectos y con secciones homogéneas. Asimismo, se registraron las coordenadas geográficas de los lugares donde se obtuvo la madera en cada ciudad, y se utilizó un enfoque bibliográfico y documental para respaldar el trabajo experimental. Esta fase inicial incluyó la preparación de probetas para los ensayos de contenido de humedad, flexión perpendicular, tracción paralela y compresión paralela a la fibra, asegurando que se cumplieran los estándares internacionales.

En la segunda fase, se realizaron los ensayos físicos y mecánicos utilizando equipos como un horno eléctrico, una balanza electrónica y una máquina universal de ensayos. Los datos obtenidos sobre el contenido de humedad, el módulo elástico y el esfuerzo admisible de las probetas permitieron identificar variaciones significativas en las propiedades de la madera según su procedencia. En la tercera fase, se llevó a cabo un análisis comparativo que evidenció que la madera de Arrayán cumple con los rangos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015), confirmando su viabilidad como material estructural. Este estudio aporta un marco técnico importante para la implementación del Arrayán como recurso sostenible en la construcción y abre la puerta a futuras investigaciones en este campo.

Palabras Claves: Madera de Arrayán, ASTM D 143-94, Flexión perpendicular, Tracción paralela, Compresión paralela.

ABSTRACT

This experimental work was developed with the aim of analysing the physical and mechanical properties of Myrtle wood from the province of Tungurahua, specifically from the cities of Ambato, Salasaca, Tisaleo and Mocha, because there is no previous research with tangible data to compare with other wood species and categorise them as structural material that can be used for the benefit of professionals and pre-professionals in the field of construction.

In the first phase, Myrtle wood was collected from these locations and specimens were made according to ASTM D143-94 specifications. To guarantee the quality and uniformity of the results, pieces free of defects and with homogeneous sections were selected. The geographical coordinates of the locations where the wood was obtained in each city were also recorded, and a bibliographic and documentary approach was used to support the experimental work. This initial phase included the preparation of specimens for moisture content, perpendicular bending, parallel tension and compression tests parallel to the grain, ensuring that international standards were met.

In the second phase, physical and mechanical tests were carried out using equipment such as an electric kiln, an electronic balance and a universal testing machine. The data obtained on the moisture content, elastic modulus and allowable stress of the specimens made it possible to identify significant variations in the properties of the wood according to its origin. In the third phase, a comparative analysis was carried out, which showed that Arrayán wood complies with the ranges established by the Ecuadorian Construction Standard (NEC 2015), confirming its viability as a structural material. This study provides an important technical framework for the implementation of Arrayán as a sustainable resource in construction and opens the door to future research in this field.

Keywords: Myrtle wood, ASTM D 143-94, Perpendicular bending, Parallel tension, Parallel compression.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

Según Langarica explica la “Construcción de Madera en Altura”, la madera ha tenido un fuerte impacto para la humanidad desde la antigüedad, durante la segunda revolución industrial la innovación ha consistido en las variaciones de las creaciones de esa época nos hemos enfocado en el vidrio, acero y hormigón armado. Nos hace pensar en la simpleza del pasado y cuanto nos falta en la actualidad plagada de industrias que han ido destruyendo el planeta lentamente contaminándolo, tomando en cuenta la industria constructiva y edificios aportan el 47% de la emisión de gases contaminantes y efecto invernadero en donde el acero y hormigón armado aportan el 3% y el 5%, por lo tanto, se deben buscar soluciones para reducir el uso de los mismos introduciendo otros materiales como la madera que es un material resistente [1]

Según Fiorella Gonzales y Francisco Villasante en “Estado de conservación de Myrcianthes ferreyrae un árbol endémico de las lomas costeras del sur del Perú”, El uso de materiales sostenibles y ecológicos en la construcción ha tenido relevancia en la ingeniería civil contemporánea debido a sus propiedades naturales y beneficios ambientales, sin embargo, la madera de Arrayán con sus cualidades intrínsecas no ha sido ampliamente estudiada ni adaptada a la construcción estructural en la provincia de Tungurahua, lo cual plantea una serie de interrogantes sobre la viabilidad y eficacia. Una de las causas principales es el limitado acceso a información técnica en donde se detalle las propiedades mecánicas y los estándares técnicos específicos para una evaluación pertinente en este tipo de madera, lo cual ha hecho que esta madera desaparezca gradualmente de la provincia de Tungurahua, ya que, no se ha dado mayor importancia pese a los múltiples usos que ofrece el Arrayán. La falta de estudios de las propiedades mecánicas del Arrayán como la flexión y tracción impide clasificar esta madera como material estructural para proyectos de construcción. [2],[3]

Según Pedro Andrés Espinosa y Luis E. Barrera Peñafiel en “La Madera en Arquitectura Identificación y Caracterización de la Madera Estructural en el Ecuador”, indican que la madera en si es un material de construcción orgánico que al realizar su análisis ha sido complejo ya que sus propiedades tanto físico como mecánico van dependiendo de muchos factores tanto propios como externos del árbol como materia prima. El lugar de crecimiento de este material depende mucho del clima, la edad de corte, el grado de humedad, la dirección de las fibras; son factores que van determinado su durabilidad y el uso correcto de la madera como material de construcción. Al tener diferentes suelos climáticos en un territorio pequeño como nuestro país,

podría presentar una serie de características que alterarían su comportamiento en cuanto a lo que sería en las estructuras metálicas o de hormigón. También es un material de progreso acelerado que la naturaleza nos ofrece al redescubrir su bondad precisa en la arquitectura con un manejo adecuado del material.[4],[5]

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Los estudios ejecutados por María García Ortega y Susana Benedetti Ruiz titulado "La madera como material para la construcción: Mitos, Realidades y Oportunidades", la madera es un componente estructural en la construcción que ofrece numerosas ventajas que son valoradas en varios países con altos estándares de vida, tales como: Estados Unidos, Canadá, Finlandia, Suecia, Australia, Nueva Zelanda y Japón, entre otros. [6]

Un estudio realizado por Joselyn Freire Cruz en su investigación titulada "Caracterización de propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de Eucalyptus nitens proveniente de plantaciones de Aglomerados Cotopaxi S.A., ubicadas en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi", se encontró que las propiedades tanto químicas como físicas y mecánicas de la madera, están influenciadas por la zona, condiciones y el clima donde el árbol va a ser plantado y posteriormente a su desarrollo.[7]

Según Keyla Mabel Cartuche y Darwin Alexander Pucha Cofrep. “Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas, organolépticas”. Nuestro país es reconocido por su biodiversidad que posee, todas las especies forestales tienen un valor invaluable tanto en ecología como en las culturas para las comunidades locales. La variación de temperatura de un clima frio a cálido podría tener diversificación en las características de la madera se estableció que, para abordar esta situación, es importante identificar especies forestales que sean similares a aquellas de alto valor comercial y ecológico, con el fin de promover un manejo forestal sostenible que domine la presión sobre las especies más explotadas. La variedad de tipos de madera entre especies forestales del Ecuador permite identificar especies poco conocidas con un potencial similar a las explotadas en la actualidad. Es de suma importancia investigar varias especies forestales en el área regional y nacional, para generar técnicas que favorezcan un manejo razonable para optimizar la toma de decisiones en nuestro país. [8]

Según Luis Barrera Peñafiel, Ana Llerena Encalada y Diego Proaño Escandón. “La madera en arquitectura identificación y caracterización de la madera estructural en el Ecuador”. La madera es un material de composición heterogénea y su comportamiento es aniso trópico,

los factores y variables son muy diversos como la especie de madera, el lugar de crecimiento, el clima, la edad de corte, el grado de la humedad, la dirección de las fibras, entre otros factores. Al construir una estructura, sea una silla o un puente, es importante que esté compuesta por un material adecuado que tenga las propiedades estructurales necesarias como: Resistencia y Rigidez, debe ser suficientemente durable para resistir un periodo de vida útil que demande la edificación y economía para permitir la variabilidad del proyecto.[9]

De acuerdo a Carlos Devia, Fredy Reyes, Michel Morris y Juan Pareja en "Losas en madera como propuesta de solución al diseño y construcción de pavimentos" las propiedades físicas y mecánicas a considerar para la construcción son: densidad, contenido de humedad, módulo de elasticidad principal, módulo de cortante principal, resistencia de flexión, resistencia de tracción paralela a la fibra, resistencia de tracción perpendicular a la fibra y resistencia al corte. Todos estos parámetros son el resultado de diferentes ensayos que se realizan de madera estandarizada en un laboratorio.[10]

Según Luis Barrera Peñafiel, Ana Llerena Encalada y Diego Proaño Escandón. "La madera en arquitectura identificación y caracterización de la madera estructural en el Ecuador". El análisis estructural para construcciones de madera es un reto realizar pruebas estandarizadas debido a la variedad de tipologías existentes. Sin embargo se puede evaluar sus propiedades más relevantes con la flexión y tracción para la determinación de módulos elásticos y de ruptura que nos permiten evaluar las condiciones del material y clasificarlo como apto y no apto para la construcción.[9]

Según E. Hermosa, R. Mateo, J.C. Cabrero, y J.I. Fernández -Golfin "Evaluación y análisis de propiedades estructurales de productos de madera". La madera al ser un producto natural que se diferencia de los materiales usualmente utilizados en la construcción como concreto y acero, la madera contiene especificaciones particulares por lo que se requiere de profesionales que sepan realizar ensayos oportunos para interpretar los resultados y compartir a los usuarios información relevante que ayudara en el juicio a la hora de elegir el material más apto para la construcción.[11]

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades mecánicas estructurales de la madera de Arrayán, localizada en cantones en la provincia de Tungurahua.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar probetas en madera de Arrayán procedentes de diferentes cantones pertenecientes a la provincia Tungurahua según la normativa ASTM D143 -94. Se realizarán probetas de acuerdo a las especificaciones con el fin de cumplir los requerimientos necesarios para los respectivos ensayos.
- Determinar el contenido de humedad, propiedades mecánicas, tracción paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra de las probetas de la madera de Arrayán procedentes de diferentes cantones en la provincia de Tungurahua. Empleando fórmulas descritas en la norma donde se determinará valores técnicos, los cuales darán a conocer si la madera puede ser considerada con fines estructurales.
- Realizar una tabla comparativa de las propiedades mecánicas de la madera de Arrayán procedentes de la provincia de Tungurahua. Con el objetivo de ayudar a profesionales y pre-profesionales en la construcción con los valores obtenidos ya que en la actualidad no se cuenta con registros de las propiedades mecánicas de la madera de Arrayán.

CAPITULO II.- METODOLOGÍA

En el presente trabajo experimental se desarrolló en 3 fases, el cual se basa en el cumplimiento de los objetivos específicos propuestos anteriormente.

El desarrollo de la fase 1, inicio buscando Arboles de Arrayán en la Provincia de Tungurahua y en las ciudades: Ambato, Salasaca, Tisaleo y Mocha. Una vez obtenida la madera de arrayan de los diferentes lugares determinados se elaboró probetas de madera de Arrayán en base a la norma ASTM D143-94, en la fase 2 se determinó la propiedad física: contenido de humedad, y las propiedades mecánicas: tracción paralela, compresión paralela y flexión perpendicular a la fibra de la madera de arrayán, de acuerdo con las normas: NTE INEN 896:2013 y ASTM D143-94. Y por último en la fase 3 se realizó un análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de arrayán, obtenidas En la provincia de Tungurahua en las ciudades: Ambato, Salasaca, Tisaleo y Mocha.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

En la fase inicial de este trabajo experimental se llevó a cabo la elaboración de probetas de madera de Arrayán regidas en las especificaciones de la norma ASTM D143-94, el cual para la elaboración de estas se utilizó, la madera obtenida.

La norma sugiere la elaboración de 5 a 10 probetas a ensayarse, en nuestro caso se realizaron 6 probetas por el método secundario para el ensayo a flexión perpendicular, 6 para el ensayo de compresión paralela y 6 para el ensayo a tracción paralela a la fibra, el cual se basó en las siguientes especificaciones de la norma ASTM D143-94:

TABLA I

NÚMERO DE PROBETAS A FLEXIÓN PERPENDICULAR Y TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

N.º	Ciudad	# Probetas	Ensayo	Normativa
1.	Ambato	6	Flexión	
2.	Ambato	6	Tracción	
3.	Ambato	6	Compresión	
4.	Salasaca	6	Flexión	
5.	Salasaca	6	Tracción	
6.	Salasaca	6	Compresión	
7.	Tisaleo	6	Flexión	ASTM D143-94
8.	Tisaleo	6	Tracción	
9.	Tisaleo	6	Compresión	
10.	Mocha	6	Flexión	
11.	Mocha	6	Tracción	
12.	Mocha	6	Compresión	
Total probetas:		72		



Fig. 1 Probetas para ensayos de flexión tracción y Compresión

Las probetas tanto para el ensayo a flexión perpendicular como para el ensayo a tracción paralela a la fibra, cumplieron con las siguientes especificaciones descritas por la norma ASTM D143-94, mostradas a continuación:

TABLA II

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO A FLEXIÓN DE LA MADERA SEGÚN LA NORMA ASTM D143-94

Métodos y Datos	Método Primerio	Método Secundario
Probetas (mm)	50 x 50 x 760	25 x 25 x 410
Distancia de apoyo (mm)	710	360
Carga (N)	890	220
Velocidad de carga (mm/min)	2.5	1.3

Nota: fuente [12]

Las especificaciones de la norma internacional, para ensayos a tracción las dimensiones fueron de 25 x 25 x 460 mm (1 x 1 x 18 in) y su forma se da de la siguiente manera:

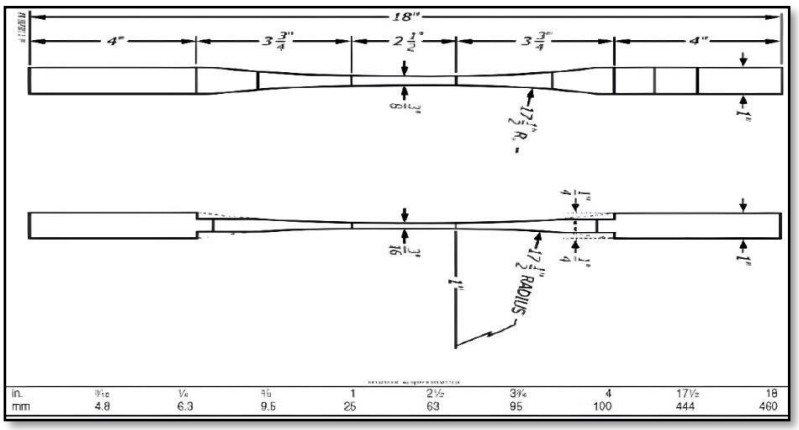


Fig. 2 Dimensiones de la probeta para el ensayo de resistencia a tracción

Nota: Fuente [12]

Posteriormente en la fase 2, para la realización del ensayo físico de contenido de humedad se adquirió y se utilizó 3 muestras no menor a 20 gr. de madera verde de Arrayán por cada ciudad, un horno eléctrico (PRECISION Mechanical convection oven) y una balanza electrónica (SHIMADZU).

Por otra parte, para los ensayos mecánicos se utilizó las probetas descritas en la fase 1 y la máquina universal para ensayos a tracción, flexión y compresión (SHIMADZU AGS-X 50 kN).



Fig. 3 Ensayo a Tracción



Fig. 4 Ensayo a Flexión



Fig. 5 Ensayo a Compresión

Por último, en la fase 3 se utilizó softwares ingenieriles para el análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de Arrayán de cada ciudad.

II. MÉTODOS

Esta investigación describe un trabajo experimental que requirió la implementación de varios procedimientos. Estos procedimientos se dividen en una fase preliminar y 3 fases principales, las cuáles se detallan continuación:

1) Fase 1: Elaboración de probetas

Para el cumplimiento de la fase 1 del presente trabajo experimental, se usó el método de campo que se ajusta a la modalidad de investigación de campo. Esto implicó la necesidad de desplazarse a diversas ciudades de la provincia de Tungurahua con el propósito de adquirir las piezas de madera para la elaboración de las probetas siguiendo los parámetros establecidos por la normativa internacional ASTM D143-94.

A continuación, mediante una imagen se detallan los depósitos de madera de cada ciudad a los cuales se asistió para la obtención de las piezas de madera de Arrayán con sus coordenadas geográficas respectivas:

TABLA III

COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LOS CENTROS DE COMERCIALIZACIÓN DE MADERA

Ciudad	**Norte (m)**	**Este (m)**	**Elevación (m)**
Ambato	9859115.58	769223.06	2589
Salasaca	9856803.13	770676.17	2653
Tisaleo	9848760.42	760503.94	3257
Mocha	9843757.82	760374.51	3312

Además, se utilizó el método bibliográfico documental, debido a que se consideró esencial recurrir a fuentes como: artículos, revistas, libros, normativas y publicaciones. Estas fuentes proporcionaron la información necesaria e imprescindible para llevar a cabo el trabajo experimental de manera adecuada, garantizando la correcta elaboración de las probetas de madera de Arrayán y la ejecución apropiada de los ensayos correspondientes.

A continuación, se elaboraron probetas de madera de Arrayán con el propósito de comprobar las propiedades físicas: contenido de humedad, y las propiedades mecánicas: tracción paralela, compresión paralela y flexión perpendicular a la fibra de la madera de arrayán. Para la fabricación de estas nos guiamos a la normativa internacional ASTM D143-94, el cual nos sugiere el empleo de muestras uniformes y de sección homogénea, exento de cualquier maleza o defecto para obtener resultados más confiables.

a) Muestras para ensayo de contenido de humedad

Para la realización del ensayo físico de contenido de humedad se utilizó 3 muestras

de madera Arrayán verde o recién cortada no menor a 20 gr. por cada ciudad.

b) Probetas ensayo a flexión perpendicular a la fibra

- Dimensiones de las probetas:

Las medidas que fueron seleccionadas en las probetas de madera para el trabajo experimental fueron para el método secundario de las especificaciones de la norma ASTM D143- 94, que son de 1 x 1 x 16 in (25 x 25 x 410 mm).

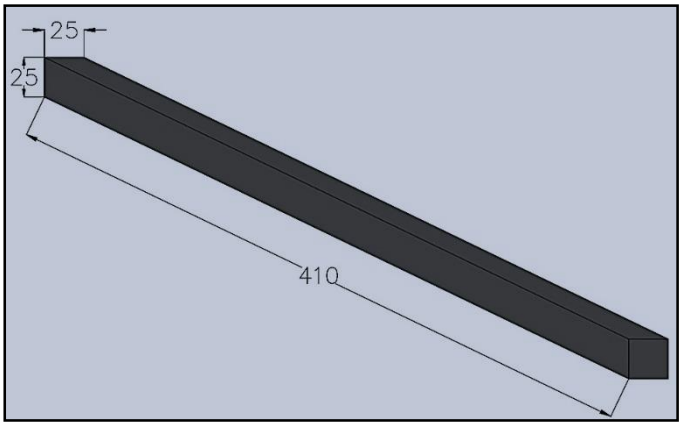


Fig. 6 Dimensiones método secundario de la probeta para ensayo a flexión perpendicular

- Proceso de fabricación de las probetas:

Ya con la madera de Arrayán secada naturalmente por al menos 1 año de cada ciudad, se llevó a cabo el siguiente procedimiento para obtener las probetas con las dimensiones necesarias.

TABLA IV

PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A FLEXIÓN

N.º	Proceso	Descripción	Fotografía

1.	Cepillado o alisado	Consiste en alinear el tabloncillo de madera, es decir, dejar cada lado recto del tablón de madera sin ninguna curva o imperfección.	
2.	Corte en tiras	Debido a que los cortes de madera de Arrayán es de 2,50 cm de grosor y 2,50 cm de ancho	
3.	Toma de medidas	Ya cortada en tiras, se procedió a dividir en probetas de 41 cm de largo.	
4.	Corte	Ya con las medidas dadas, se procedió a cortar en probetas de 41 cm x 2,50 cm x 2,50 cm para el ensayo a flexión perpendicular.	

- Identificación de las probetas:

Una vez realizadas las probetas y siguiendo el proceso de fabricación descrito anteriormente, se procedió a identificar cada una de las probetas en base al ensayo a flexión perpendicular a la fibra y ciudad destinadas, así como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA V

IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A FLEXIÓN

N.º	Ciudad	Ensayo	Identificación

1.	Ambato	Flexión perpendicular	FA-1 FA-2 FA-3 FA-4 FA-5 FA-6
2.	Salasaca	Flexión perpendicular	FS-1 FS-2 FS-3 FS-4 FS-5 FS-6
3.	Tisaleo	Flexión perpendicular	FT-1 FT-2 FT-3 FT-4 FT-5 FT-6
4.	Mocha	Flexión perpendicular	FM-1 FM-2 FM-3 FM-4 FM-5 FM-6

c) Probetas ensayo a tracción paralela a la fibra

- Dimensiones de las probetas:

Las medidas que fueron seleccionadas en las probetas de madera para el trabajo experimental fueron de las especificaciones de la norma ASTM D143-94, que son de 25 x 25 x 460 mm, y sus medidas se representan en la siguiente imagen.

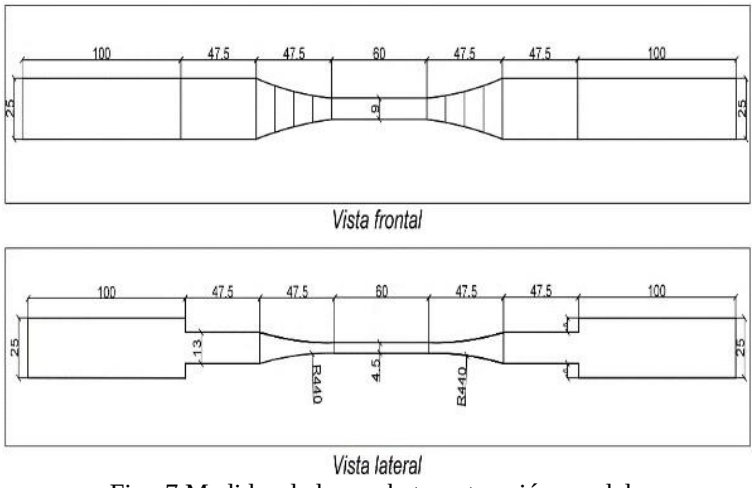


Fig. 7 Medidas de las probetas a tracción paralela

Nota: Fuente[12]

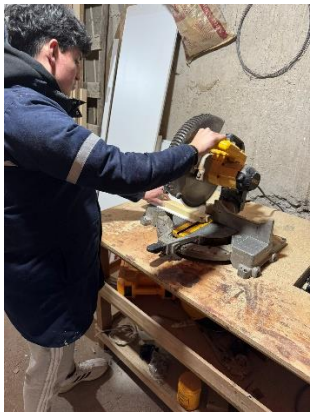
- Proceso de fabricación de las probetas:

La madera de Arrayán secada naturalmente de cada ciudad, y realizadas el proceso de fabricación de las probetas para el ensayo a flexión (canteado, cepillado y corte) descrito en la

TABLA IV, se llevó a cabo el siguiente procedimiento para obtener la forma de las probetas con las dimensiones necesarias.

TABLA VI

PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCIÓN

N.º	Proceso	Descripción	Fotografía
1.	Moldeado	Con la ayuda de moldes realizados en tabla tríplex de 3.2 mm y acopladas a las medidas para el ensayo a tracción paralela a la fibra, estos sirvieron como guía para la elaboración de las probetas a tracción.	
2.	Perfilado	Ya con estos moldes de la madera de arrayán, se conectó con las muestras de madera y se procedió a darles la forma respectiva, generando las curvas respectivas de la probeta con la máquina.	

3.	Ranurado	Con la ayuda de una sierra se detalló las ranuras que posee la probeta de madera para el ensayo a tracción.	
4.	Lijado	Para un mejor acabado de la probeta de madera se lijó toda la muestra con la ayuda de una lija Nº 80 para la parte de las puntas y con una lija Nº 50 para la parte intermedia de la probeta.	

- Identificación de las probetas:

Una vez realizadas las probetas y siguiendo el proceso de fabricación descrito anteriormente, se procedió a identificar cada una de las probetas en base al ensayo a tracción paralela a la fibra y ciudad destinadas, así como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA VII

IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCIÓN

N.º	Ciudad	Ensayo	Identificación
1.	Ambato	Tracción paralela	TA-1 TA-2 TA-3 TA-4 TA-5 TA-6
2.	Salasaca	Tracción paralela	TS-1 TS-2 TS-3 TS-4 TS-5 TS-6

3.	Tisaleo	Tracción paralela	TT-1 TT-2 TT-3 TT-4 TT-5 TT-6
4.	Mocha	Tracción paralela	TM-1 TM-2 TM-3 TM-4 TM-5 TM-6

a) Probetas ensayo a compresión paralela a la fibra

- Dimensiones de las probetas:

Las medidas que fueron seleccionadas en las probetas de madera para el trabajo experimental fueron para el método secundario de las especificaciones de la norma ASTM D143- 94, que son de 1 x 1 x 4 in (25 x 25 x 100 mm).

- Proceso de fabricación de las probetas:

Ya con la madera de Arrayán secada naturalmente por al menos 1 año de cada ciudad, se llevó a cabo el siguiente procedimiento para obtener las probetas con las dimensiones necesarias.

TABLA VIII

PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A COMPRESIÓN

N.º	**Proceso**	**Descripción**	**Fotografía**
1.	Cepillado o alisado	Consiste en alinear el tabloncillo de madera, es decir, dejar cada lado recto del tablón de madera sin ninguna curva o imperfección.	

2.	Corte en tiras	Debido a que los cortes de madera de Arrayán es de 2,50 cm de grosor y 2,50 cm de ancho	
3.	Toma de medidas	Ya cortada en tiras, se procedió a dividir en probetas de 10 cm de largo.	
4.	Corte	Ya con las medidas dadas, se procedió a cortar en probetas de 10 cm x 2,50 cm x 2,50 cm para el ensayo a compresión paralela.	

- Identificación de las probetas:

Una vez realizadas las probetas y siguiendo el proceso de fabricación descrito anteriormente, se procedió a identificar cada una de las probetas en base al ensayo a compresión paralela a la fibra y ciudad destinadas, así como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA IX

IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A COMPRESIÓN

N.º	Ciudad	Ensayo	Identificación
1.	Ambato	Compresión paralela	CA-1 CA-2 CA-3 CA-4 CA-5 CA-6
2.	Salasaca	Compresión paralela	CS-1 CS-2 CS-3 CS-4 CS-5

			CS-6
3.	Tisaleo	Compresión paralela	CT-1 CT-2 CT-3 CT-4 CT-5 CT-6
4.	Mocha	Compresión paralela	CM-1 CM-2 CM-3 CM-4 CM-5 CM-6

2) Fase 2: Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera

En esta fase 2 se aplicó el método experimental, ya que se realizaron tres tipos de ensayos: un ensayo físico (contenido de humedad) en base a la norma NTE INEN 896-2013 y tres ensayos mecánicos (tracción paralela, compresión paralela y flexión perpendicular a la fibra).

A continuación, se detalla el procedimiento que se efectuó para la realización del ensayo físico y los ensayos mecánicos, y las fórmulas para la obtención de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Arrayán según la normativa ASTM D198 (2015).

a) Ensayo físico

- Contenido de humedad:

Para llevar a cabo la obtención del contenido de humedad de la madera de arrayán, seguimos las especificaciones de la norma NTE INEN 896-2013, el cual se utilizó el siguiente procedimiento:

TABLA X

PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.º	**Procedimiento**	**Fotografía**

1.	En primer lugar, se encenderá y se encerará la balanza electrónica.	
2.	Después se procederá a pesar cada una de las muestras no menor a 20 g (3 muestras por ciudad) y anotar cada uno de sus pesos originales o húmedos.	
3.	Luego se colocará en el horno eléctrico las 12 muestras a una temperatura de 103 ± 3°C, durante 20 horas como mínimo (24 horas recomendado).	
4.	Como último paso, transcurridas las 24 horas se retiró las muestras del horno eléctrico con la ayuda de guantes especiales y se procedió a obtener su peso seco al horno o anhidro y anotar cada uno de estos en gramos.	

Nota: fuente [17]

Ya con estos pesos obtenidos (húmedos y anhidros), se procedió a ocupar la fórmula del Contenido de humedad para cada una de las muestras dada por la Norma Ecuatoriana de

la Construcción NEC (2015) – NEC-SE-MD, mostrada a continuación: [18]

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{Peso\ Húmedo - Peso\ anhidro}{Peso\ anhidro} x100 \quad (1)$$

b) Ensayos mecánicos

Una vez ya realizadas las probetas de madera, caracterizadas con su terminología distintiva y verificadas que cumplan con las dimensiones establecidas en la normativa con el uso de un calibrador, se procedió a realizar los ensayos descritos en el presente proyecto, tanto el ensayo a tracción y compresión paralela a la fibra como el de flexión perpendicular a la fibra.

- Ensayo a flexión perpendicular a la fibra:

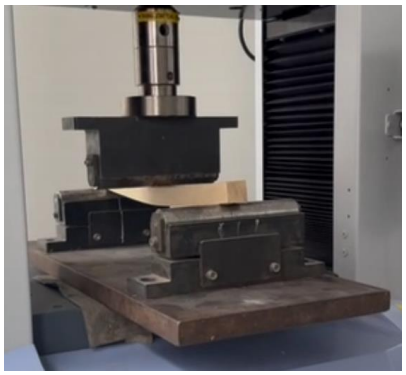
El procedimiento que se realizó para el ensayo a flexión perpendicular a la fibra de las probetas de madera de Arrayán es:

TABLA XI

PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

N.º	Procedimiento	Fotografía
1.	En primer lugar, encender y calibrar la máquina SHIMADZU AGS-X 50 kN.	
2.	Después, colocar los apoyos a una distancia de 360 mm para el método secundario en base a la norma ASTM D143-94.	
3.	Luego, escoger el tipo de ensayo a realizar (ensayo a flexión estática).	

4. Posteriormente, ingresar las variables del ensayo, en este caso: la velocidad de carga de 1.3 mm/min, el espesor y ancho de la probeta (2.50cmx2.50cm) y por último la distancia entre apoyos (360mm).



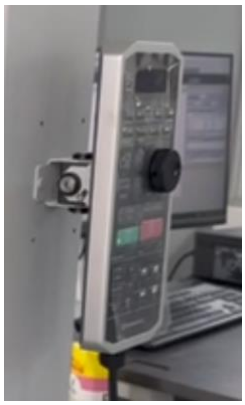
5. Seguidamente colocar la probeta de madera en el centro de los apoyos guiándose de las líneas de referencia que estos presentan.

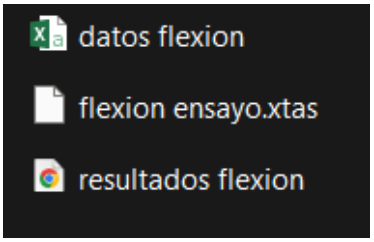


6. Enseguida colocar la carga en el centro de la probeta marcado anteriormente y con la ayuda del control manual asegurar la carga para que no tenga movimiento hasta que en este presente una fuerza positiva.



7. Después, encerar la fuerza y el desplazamiento, seguidamente aplicar una precarga, y volver a encerar las fuerzas y desplazamientos.
Presionar dos veces el botón START y el ensayo se dará inicio.



8.	Como último paso ya ensayadas todas las probetas y generada la falla en cada una de ellas, guardar y exportar datos. Estos datos tendrán un formato csv, el cual se procede a cambiar a formato xlsx.	

Los tipos de falla que se presentaron en las probetas ensayadas a flexión perpendicular se caracterizan por su forma de fractura y la apariencia del material después de ensayarse, estas se clasifican:

a. Tensión simple
b. Tensión transversal
c. Tensión astillada
d. Tensión abrupta
e. Compresión
f. Corte horizontal

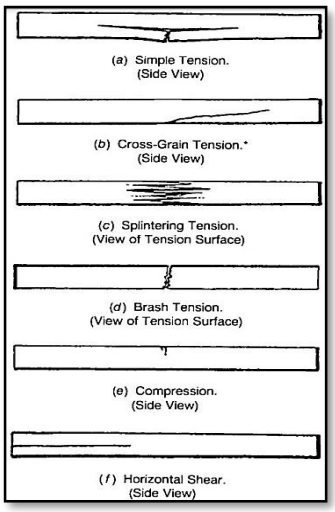


Fig. 8 Tipos de fallas en flexión estática

Nota: fuente [16]

Por otra parte, las propiedades mecánicas a flexión perpendicular de la madera de Arrayán se calcularon mediante las siguientes fórmulas: [19]

Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional (MPa)

$$S' = \frac{3xP'xl}{2xbxd^2} \quad (2)$$

Donde:

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

$\boldsymbol{l}$: Distancia libre entre apoyos (mm)

$\boldsymbol{b}$: Ancho del espécimen de flexión (mm)

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

Módulo de ruptura (MPa)

$$SR = \frac{3xP_{máx}xl}{2xbxd^2} \quad (3)$$

Donde:

$\boldsymbol{P_{màx}}$: Carga máxima soportada por el espécimen (N)

$\boldsymbol{l}$: Distancia libre entre apoyos (mm)

$\boldsymbol{b}$: Ancho del espécimen de flexión (mm)

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

Módulo de elasticidad aparente (MPa)

$$E_{app} = \frac{P'xl^3}{4xbxd^3x\Delta} \quad (4)$$

Donde:

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

$\boldsymbol{l}$: Distancia libre entre apoyos (mm)

$\boldsymbol{b}$: Ancho del espécimen de flexión (mm)

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

Δ: Deflexión del espécimen en el límite proporcional (mm)

Esfuerzo admisible (MPa)

$$E_{adm} = \frac{F.CxF.T}{F.SxF.D.C} xE_{ult} \qquad (5)$$

$\boldsymbol{E_{ult}}$: Esfuerzo ultimo (Mpa) ≈ Módulo de ruptura (SR)

$\boldsymbol{F.C}$: 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

TABLA XII

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	2.00
Factor de duración de carga	1.15

Nota: fuente [13]

o Ensayo a tracción paralela a la fibra:

El procedimiento que se realizó para el ensayo a tracción paralela a la fibra de las probetas de madera de Arrayán es:

TABLA XIII

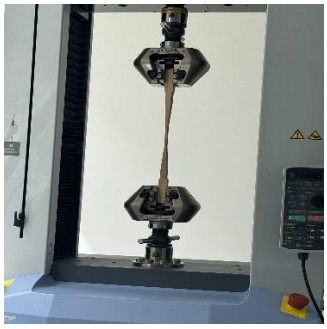
PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.

N.º	**Procedimiento**	**Fotografía**

1. En primer lugar, encender y calibrar la máquina SHIMADZU AGS-X 50 kN.



2. Después, cambiar las mordazas con las medidas de las probetas a ensayarse.



3. Luego, escoger el tipo de ensayo a realizar (ensayo a tracción paralela).



4. A continuación, ingresar las variables del ensayo, en este caso: la velocidad de carga de 1 mm/min, el espesor y ancho de la probeta (4.50mmx9mm) y por último la distancia entre mordazas (360mm).



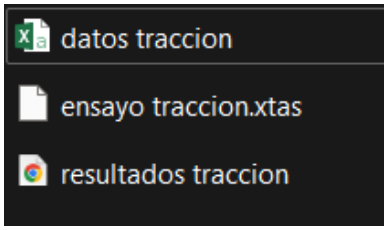
5. Posteriormente, colocar la probeta en la máquina y ajustar las puntas con la ayuda de las mordazas.



6. Después, encerar la fuerza y el desplazamiento, seguidamente aplicar una precarga, y volver a encerar las fuerzas y desplazamientos. Presionar dos veces el botón START y el ensayo se dará inicio.



7. Como último paso ya ensayadas todas las probetas y generada la falla en cada una de ellas, guardar y exportar datos. Estos datos tendrán un formato csv, el cual se procede a cambiar a formato xlsx.



Los tipos de falla que se presentaron en las probetas ensayadas a tracción paralela se caracterizan por su forma de fractura y la apariencia del material después de ensayarse, estas se clasifican:

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

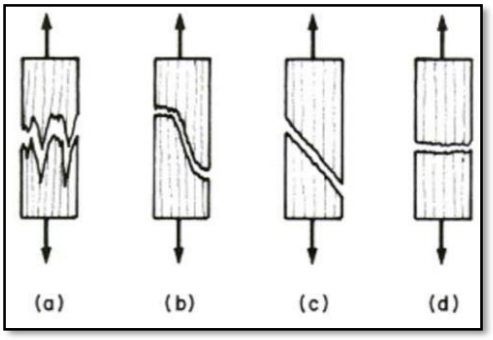


Fig. 9 Tipos de fallas en tracción

Nota: Fuente[12]

Por consiguiente, las propiedades mecánicas a tracción paralela de la madera de Arrayán se calcularon mediante las siguientes fórmulas: [19]

Resistencia a la tracción (MPa)

$$\sigma_t = \frac{P_{máx}}{A} \qquad (6)$$

Donde:

$\boldsymbol{P_{máx}}$ = Carga máxima soportada por el espécimen (N)

$\boldsymbol{A}$ = Área de la sección transversal (mm)

Tensión en el límite proporcional (MPa)

$$\sigma'_t = \frac{P'}{A} \qquad (7)$$

Donde:

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

$\boldsymbol{A}$ = Área de la sección transversal (mm)

Módulo de elasticidad (MPa)

$$E'_{axial} = \frac{\sigma'_t}{\varepsilon} \qquad (8)$$

Donde:

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

$\boldsymbol{\varepsilon}$ = Deformación en el límite proporcional

Esfuerzo admisible (MPa)

$$E_{adm} = \frac{F.CxF.T}{F.SxF.D.C} xE_{ult} \quad (9)$$

Donde:

$\boldsymbol{E_{ult}}$: Esfuerzo ultimo (Mpa) ≈ Módulo de ruptura (SR)

$\boldsymbol{F.C}$: 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

TABLA XIV

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	-

Nota: fuente [13]

o Ensayo a compresión paralela a la fibra:

El procedimiento que se realizó para el ensayo a compresión paralela a la fibra de las probetas de madera de Arrayán es:

TABLA XV

PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

N.º	**Procedimiento**	**Fotografía**

1. En primer lugar, encender y calibrar la máquina SHIMADZU AGS-X 50 kN.



2. Después, cambiar las mordazas con las medidas de las probetas a ensayarse.



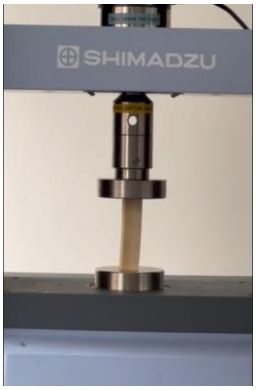
3. Luego, escoger el tipo de ensayo a realizar (ensayo a compresión paralela).



4. A continuación, ingresar las variables del ensayo, en este caso: la velocidad de carga de 1 mm/min, el espesor y ancho de la probeta (25mmx25mm) y por último la distancia entre planchas (100mm).



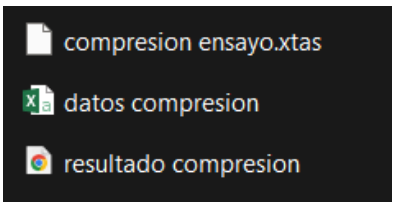
5. Posteriormente, colocar la probeta en la máquina y ajustar las puntas con la ayuda de las mordazas.



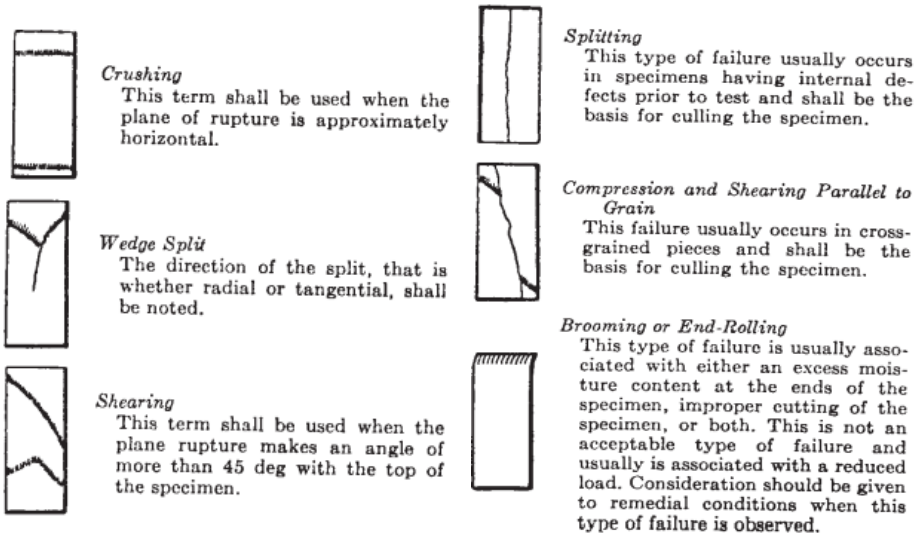
6. Después, encerar la fuerza y el desplazamiento, seguidamente aplicar una precarga, y volver a encerar las fuerzas y desplazamientos. Presionar dos veces el botón START y el ensayo se dará inicio.



7. Como último paso ya ensayadas todas las probetas y generada la falla en cada una de ellas, guardar y exportar datos. Estos datos tendrán un formato csv, el cual se procede a cambiar a formato xlsx.



Los tipos de falla que se presentaron en las probetas ensayadas a compresión paralela se caracterizan por su forma de fractura y la apariencia del material después de ensayarse, estas se clasifican:



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 Fallas por compresión paralela

Nota: Fuente [12]

Resistencia a la Compresión (MPa)

$$\sigma_t = \frac{P_{máx}}{A} \quad (10)$$

Donde:

$\boldsymbol{P_{máx}}$ = Carga máxima soportada por el espécimen (N)

$\boldsymbol{A}$ = Área de la sección transversal (mm)

Esfuerzo en el límite proporcional (MPa)

$$\sigma'_t = \frac{P'}{A} \quad (11)$$

Donde:

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

$\boldsymbol{A}$ = Área de la sección transversal (mm)

Módulo de elasticidad (MPa)

$$E'_{axial} = \frac{\sigma'_t}{\varepsilon} \quad (12)$$

Donde:

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

$\boldsymbol{\varepsilon}$ = Deformación en el límite proporcional

Esfuerzo admisible (MPa)

$$E_{adm} = \frac{F.CxF.T}{F.SxF.D.C} xE_{ult} \quad (13)$$

Donde:

$\boldsymbol{E_{ult}}$: Esfuerzo ultimo (Mpa)

$\boldsymbol{F.C}$: 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

TABLA XVI

FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA MADERA

	Factores de reducción
Factor de reducción por calidad	-
Factor de reducción por tamaño	-
Factor de servicio y seguridad	1.60
Factor de duración de carga	1.25

Nota: fuente [13]

3) Fase 3: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de arrayán

Por último, en la fase 3 se utilizó dos tipos de métodos, el primer método es descriptivo, debido a que se realizó una tabla del análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de Arrayán de las diferentes ciudades pertenecientes a la provincia de Tungurahua.

A continuación, se realizó una tabla resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio: tracción paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra, de cada uno de los centros de comercialización de la madera de canelo, con su respectivo contenido de humedad, para que sea usado como referencia para valores de diseño.

Ya con estas tablas resumen hechas y siguiendo las fases anteriores, se pudo realizar un análisis comparativo de los resultados de los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de la madera de Arrayán proveniente de las diferentes ciudades, y se evaluó las diferencias y similitudes en base a la resistencia máxima a flexión y tracción, debido a factores asociados al lugar de procedencia de la madera.

El segundo método utilizado es el explicativo, dado que se explica las propiedades mecánicas que posee la madera de Arrayán de cada ciudad sometidas a flexión perpendicular como tracción paralela a la fibra.

CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El capítulo expone el análisis de resultados obtenidos en los ensayos realizados en la madera de arrayán de las diferentes ciudades de la provincia de Tungurahua la misma que ha pasado por un secado natural de un año. Se obtuvieron muestras y realizaron probetas donde se obtuvo el contenido de humedad verde y seco, además de las propiedades mecánicas donde se realizaron ensayos de flexión perpendicular, tracción paralela y compresión paralela a la fibra, ensayados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

1) Propiedades físicas

a) Contenido de humedad verde

El contenido de humedad verde presente en la madera de arrayán se obtuvo mediante tres muestras recolectadas por ciudad dándonos un total de 12 muestras las cuales se pesaron húmedo y anhidra calculando con la ecuación uno exponiendo los siguientes resultados:

TABLA XVII

CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD AMBATO

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.		114.50	57.80	88.70
2.	Ambato	122.50	81.50	50.31
3.		155.00	88.70	88.28
Promedio		130.67	69.33	74.38

TABLA XVIII

CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD SALASACA

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.		155.50	91,70	69,57
2.	Salasaca	130.00	74,00	75,68
3.		110.50	63,00	75,40
Promedio		132.00	76,23	73,55

TABLA XIX

CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD TISALEO

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Tisaleo	146.00	82,10	77,83
2.		141.50	80,70	75,34
3.		132.50	75,10	76,43
Promedio		140.00	79,30	76,53

TABLA XX

CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD MOCHA

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Mocha	153,50	86,57	77,31
2.		116,00	64,80	79,01
3.		150,50	84,13	78,89
Promedio		140,00	78,50	78,41

Los resultados obtenidos en el contenido de humedad verde de la madera de arrayán, se concluyó que las probetas obtenidas en la ciudad “Tisaleo” presentó el contenido de humedad más alto (78,41%), sin embargo, las probetas obtenidas en la ciudad “Salasaca” presentó el contenido de humedad verde más bajo (73,55%). Resaltando el hecho que el contenido de humedad varía de acuerdo con su altitud de donde se obtienen las muestras, la altitud de la ciudad “Mocha” es de ”3312” y la ciudad “Salasaca” es de “2653”.

En conclusión, se puede determinar que todos los valores del contenido de humedad verde cumplen con un porcentaje mayor a 35% para madera recién talada o en estado verde.

o Densidad básica:

El cálculo de la densidad básica de la madera de Arrayán en las 4 ciudades de la provincia de Tungurahua, se obtuvo mediante la relación entre el peso seco al horno y el volumen verde.

TABLA XXI

DENSIDAD BÁSICA DE MADERA DE ARRAYÁN

Ciudad	Densidad básica $(\frac{gr}{cm^3})$
Ambato	0,42
Salasaca	0,42
Tisaleo	0,43
Mocha	0,44
Promedio	0,43

Con relación al estudio de "Especies forestales más aprovechadas en la región sur del Ecuador" [14] habla sobre arrayan una especie de árbol andino la cual está entre los 20 especímenes menos aprovechados del país, es decir que no se lo toma en cuenta dado que su volumen utilizado al año es de 2956 que contrarresta del primero con 55734,28. [14]

Según la NEC-SE-MD [15] nos dice que la densidad mínima para madera estructural debe ser de 0,4 gr/cm3 ya que además de soportar su peso deberá estar sujeta a diversos esfuerzos y de acuerdo a los resultados la densidad de la madera de arrayán es de 0.43 por lo tanto se encuentra dentro del rango aceptable para madera estructural.

b) Contenido de humedad Seco

El contenido de humedad seco presente en la madera de arrayán se obtuvo mediante tres muestras recolectadas por ciudad y por ensayo dándonos un total de 36 muestras las cuales se pesaron húmedo y anhidra calculando con la ecuación uno exponiendo los siguientes resultados:

- *Contenido de humedad seco en Flexión*

TABLA XXII

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A FLEXIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD AMBATO

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Ambato	58,64	51,80	13,20
2.		61,43	53,40	15,04
3.		79,35	70,12	13,16
Promedio		66,47	58,44	13,80

TABLA XXIII

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A FLEXIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD SALASACA

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Salasaca	82,10	73,12	12,28
2.		68,00	60,48	12,43
3.		55,10	48,25	14,20
Promedio		68,40	60,62	12,97

TABLA XXIV

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A FLEXIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD TISALEO

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Tisaleo	71,33	62,34	14,42
2.		73,67	65,20	12,99
3.		66,84	58,87	13,54
Promedio		70,61	62,14	13,65

TABLA XXV

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A FLEXIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD MOCHA

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Mocha	79,60	71,63	11,13
2.		58,20	51,36	13,32
3.		74,40	65,32	13,90
Promedio		70,73	62,77	12,78

Los resultados obtenidos en el contenido de humedad seco de la madera de arrayán, se concluyó que las probetas obtenidas en la ciudad “Ambato” presentó el contenido de humedad más alto (13,80%), sin embargo, las probetas obtenidas en la ciudad “Mocha” presentó el contenido de humedad más bajo (12,78%) en los ensayos a flexión.

- *Contenido de humedad seco en Compresión*

TABLA XXVI

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A COMPRESIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD AMBATO

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda	Masa anhidra	Contenido de

		(gr)	(gr)	humedad (%)
1.		58,36	51,88	12,49
2.	Ambato	63,21	55,76	13,36
3.		68,22	60,53	12,70
Promedio		63,26	56,06	12,85

TABLA XXVII

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A COMPRESIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD SALASACA

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.		83,42	73,46	13,56
2.	Salasaca	70,15	62,14	12,89
3.		56,98	50,34	13,19
Promedio		70,18	61,98	13,21

TABLA XXVIII

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A COMPRESIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD TISALEO

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.		73,65	64,98	13,34
2.	Tisaleo	71,32	63,15	12,94
3.		70,40	62,47	12,69
Promedio		71,79	63,53	12,99

TABLA XXIX

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A COMPRESIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD MOCHA

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.		77,64	69,87	11,96
2.	Mocha	63,42	55,12	13,14

3.	73,15	64,95	12,63
Promedio	71,40	63,31	12,58

Los resultados obtenidos en el contenido de humedad seco de la madera de arrayán, se concluyó que las probetas obtenidas en la ciudad "Salasaca" presentó el contenido de humedad más alto (13,21%), sin embargo, las probetas obtenidas en la ciudad "Mocha" presentó el contenido de humedad más bajo (12,58%) para el ensayo a compresión.

- *Contenido de humedad seco en Tracción*

TABLA XXX

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A TRACCIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD AMBATO

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Ambato	58,70	51,86	13,19
2.		61,50	54,73	12,37
3.		79,30	70,12	13,09
Promedio		66,50	58,90	12,88

TABLA XXXI

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A TRACCIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD SALASACA

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Salasaca	82,16	73,10	12,39
2.		67,87	60,45	12,27
3.		55,10	48,30	14,08
Promedio		68,38	60,62	12,92

TABLA XXXII

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A TRACCIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD TISALEO

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Tisaleo	71,30	62,47	14,13
2.		73,30	65,21	12,41
3.		67,00	58,94	13,67
Promedio		70,53	62,21	13,41

TABLA XXXIII

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PARA ENSAYO A TRACCIÓN EN MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD MOCHA

# Muestra	Ciudad	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Mocha	78,90	70,55	13,37
2.		58,20	50,23	12,22
3.		74,40	65,32	13,90
Promedio		70,50	62,03	13,16

Los resultados obtenidos en el contenido de humedad seco de la madera de arrayán, se concluyó que las probetas obtenidas en la ciudad "Tisaleo" presentó el contenido de humedad más alto (1341%), sin embargo, las probetas obtenidas en la ciudad "Ambato" presentó el contenido de humedad más bajo (12,88%) para el ensayo a Tracción.

2) Propiedades mecánicas

Los ensayos realizados de las propiedades mecánicas: flexión perpendicular, tracción paralela y compresión paralela a la fibra, un total de 72 probetas en madera de arrayán de las cuales 12 se ensayaron debido a la limitada disponibilidad de la maquina SHIMADZU AGS-X 50 kN repartiendo 4 probetas por ensayo una por cada ciudad (Ambato, Tisaleo, Mocha y Salasaca).

a) Flexión perpendicular a la fibra

A continuación, se representó en 2 tablas los resultados obtenidos del ensayo a flexión perpendicular de las cuatro ciudades Ambato, Salasaca, Tisaleo y Mocha donde la TABLA XXXIV muestra las cargas y deflexiones, mientras que la TABLA XXXV presenta el esfuerzo en el límite proporcional que fue calculado con la ecuación (2), su resistencia máxima calculada con la ecuación (3), el módulo de elasticidad se calculó con la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y el esfuerzo admisible que se calculó con la ecuación (5) de la madera de Arrayán.

TABLA XXXIV

CARGAS Y DEFLEXIONES DE LA MADERA DE ARRAYÁN DE LAS CIUDADES AMBATO, MOCHA, TISALEO Y SALASACA

ID Muestra	Carga máxima (N)	Deflexión en carga máxima (mm)	Carga en el límite proporcional (N)	Deflexión en el límite proporcional (mm)
FT	2893,800	23,148	1149,527	4,221
FA	1763,560	10,990	1082,277	4,112
FM	2723,460	23,528	1565,011	4,158
FS	2736,620	28,508	1327,658	4,161

TABLA XXXV

ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE ARRAYÁN DE LAS CIUDADES AMBATO, TISALEO, MOCHA Y SALASACA

ID Muestra	Esfuerzo en el límite proporcional (MPa)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
FT	39,728	100,010	8132,272	31,307
FA	37,403	60,949	7858,681	19,080
FM	54,087	94,123	11237,476	29,465
FS	45,884	94,578	9527,077	29,607

Los datos obtenidos de las tablas corresponden a un ensayo de flexión realizado en madera de arrayán de las ciudades de Ambato, Tisaleo, Mocha y Salasaca. En primer lugar, al analizar las cargas y deflexiones en la TABLA XXXIV, se observa que la probeta sometida a flexión de Tisaleo (FT), presenta la mayor carga máxima, alcanzando un valor de 2893,800 N, lo que indica su capacidad para soportar mayores esfuerzos antes de fallar. Por otro lado, la probeta sometida a flexión de Ambato (FA), tiene la menor carga máxima con 1763,560 N, lo que sugiere una madera menos resistente. En cuanto a la deflexión en carga máxima, se destaca la Probeta sometida a flexión de Salasaca (FS) con 28,508 mm, lo que evidencia un comportamiento más deformable, sin embargo, FA muestra la menor deflexión, con solo 10,990 mm.

Además, si consideramos las cargas en el límite proporcional, se observa que la probeta sometida a flexión de mocha (FM), registra el valor más alto, alcanzando 1565,011 N, lo que demuestra un mejor desempeño en el rango elástico. Sin embargo, FA tiene el valor más bajo con 1082,277 N, confirmando su menor capacidad. Respecto a la deflexión en el límite proporcional, los valores son similares entre las muestras, aunque FT tiene una ligera ventaja de 2,57% con 4,221 mm frente a los 4,112 mm de FA.

Por otra parte, al examinar las propiedades mecánicas en la TABLA XXXV, sobresale nuevamente la probeta FT, que presenta el mayor esfuerzo en el límite proporcional con 39,728 MPa y una resistencia máxima de 100,010 MPa, posicionándola como la madera más resistente y adecuada para aplicaciones estructurales exigentes. En contraste, FA muestra los valores más bajos en ambas categorías, con 37,403 MPa y 60,949 MPa, respectivamente, lo que sugiere un comportamiento menos favorable. En términos del módulo de elasticidad, FM lidera con 11237,476 MPa, indicando mayor rigidez, mientras que FA tiene el menor módulo con 7858,681 MPa, reflejando mayor flexibilidad. Finalmente, al evaluar el esfuerzo admisible, FT mantiene su superioridad con 31,307 MPa, mientras que FS, aunque intermedia en otras categorías, tiene el valor más bajo con 29,465 MPa.

En resumen, se puede concluir que la madera de arrayán en Tisaleo (FT) es la más resistente, lo que la hace ideal para aplicaciones estructurales. Por el contrario, la madera de arrayan en Ambato (FA) presenta menor calidad mecánica, siendo menos adecuada para usos exigentes. Sin embargo, la madera de Mocha (FM) destaca por su buen desempeño en el rango elástico, mientras que la de Salasaca (FS) ofrece propiedades intermedias y mayor deformabilidad, lo que podría ser útil en aplicaciones secundarias. Por tanto, sería recomendable realizar estudios adicionales para correlacionar estas propiedades con las condiciones de crecimiento y procesamiento de la madera en cada ciudad, optimizando así su uso en diferentes aplicaciones.

- Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible:

A continuación, se resalta los resultados obtenidos del ensayo a flexión perpendicular de las probetas de madera de Arrayán de la provincia de Tungurahua, clasificándolos de acuerdo a los parámetros de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-MD) – Estructuras de madera.

TABLA XXXVI

MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa)

Grupo	**$E_{mìn}$ ($E_{0.05}$)**	**$E_{promedio}$**
“A”	9500	13000
“B”	7500	10000
“C”	5500	9000

Nota**:** fuente [15]

Donde:

$E_{mìn}$: valor mínimo para el cálculo de elementos individuales, tales como: columnas o

vigas.

$E_{promedio}$: valor promedio y adecuado para el diseño de elementos en los que exista una acción en conjuntos, tales como: viguetas (para entablados) y pies derechos (en tabiques y/o entramados). [15]

En primer lugar, el módulo de elasticidad de Tisaleo, con un valor de 8132,272 MPa, se encuentra por debajo del promedio del grupo "A" (13,000 MPa) y del valor característico $E_{0.05}$ de este grupo (9500 MPa). Sin embargo, supera el valor característico del grupo "B" (7500 MPa) y está dentro de su promedio (10,000 MPa). Por lo tanto, se clasifica dentro del grupo "B". Por otro lado, Ambato, con un módulo de elasticidad de 7858,681 MPa, tampoco alcanza los valores establecidos para el grupo "A", ya que es inferior tanto al promedio (13,000 MPa) como al $E_{0.05}$ (9500 MPa) de dicho grupo. Aun así, este valor supera el del grupo "B" (7500 MPa) y se encuentra cercano a su promedio (10,000 MPa), clasificándose también dentro del grupo "B".

En el caso de Mocha, con un módulo de elasticidad de 11237,476 MPa, se observa que este valor supera tanto el $E_{0.05}$ (9500 MPa) como el promedio (13,000 MPa) del grupo "A". Esto demuestra que Mocha pertenece al grupo "A", siendo la única muestra que cumple con los requisitos para clasificarse en este rango, lo cual evidencia un comportamiento mecánico superior y apto para aplicaciones estructurales más exigentes. Finalmente, el módulo de elasticidad de Salasaca, con un valor de 9527,077 MPa, se encuentra justo en el límite inferior del $E_{0.05}$ del grupo "A" (9500 MPa), aunque no alcanza su promedio (13,000 MPa). Sin embargo, este valor supera el $E_{0.05}$ del grupo "B" (7500 MPa) y se encuentra cercano a su promedio (10,000 MPa), por lo que se clasifica más consistentemente dentro del grupo "B", aunque está en el límite entre los dos grupos.

En retrospectiva, los resultados indican que Mocha es la única ciudad cuya madera de arrayán cumple con los requisitos del grupo "A" según la NEC-SE-MD, evidenciando un módulo elástico de alta calidad. En contraste, las maderas de Tisaleo, Ambato y Salasaca se clasifican dentro del grupo "B", lo que demuestra propiedades mecánicas adecuadas para aplicaciones estructurales de rigidez moderada.

De acuerdo a los esfuerzos admisibles obtenidos para las ciudades de Tisaleo, Ambato, Mocha y Salasaca, comparándolos y clasificándolos según los rangos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-MD) – Estructuras de Madera.

En primer lugar, el esfuerzo admisible de Tisaleo, con un valor de 31,307 MPa, supera ampliamente los valores característicos y promedios establecidos para los grupos "A" (21.00 MPa), "B" (15.00 MPa) y "C" (10.00 MPa). Por lo tanto, Tisaleo se clasifica claramente dentro del grupo "A", evidenciando un comportamiento mecánico excelente y apto para aplicaciones estructurales de alta exigencia. Por otro lado, el esfuerzo admisible de Ambato, con un valor de 19,080 MPa, se encuentra por debajo del rango establecido para el grupo "A" (21.00 MPa), pero supera los valores característicos del grupo "B" (15.00 MPa) y "C" (10.00 MPa).

En el caso de Mocha, con un esfuerzo admisible de 29,465 MPa, se observa que este valor supera significativamente los límites del grupo "A" (21.00 MPa), así como los de los grupos "B" y "C". Por lo tanto, Mocha también se clasifica dentro del grupo "A", demostrando un excelente comportamiento mecánico. Finalmente, el esfuerzo admisible de Salasaca, con un valor de 29,607 MPa, sigue el mismo patrón que Mocha, ya que también supera los valores del grupo "A" y los de los grupos inferiores. Por lo tanto, Salasaca se clasifica dentro del grupo "A".

Estos resultados resaltan la importancia de la caracterización del material según su origen, con el fin de garantizar un uso adecuado en proyectos de construcción. Estos tres grupos estructurales deben resistir los siguientes esfuerzos ante cargas mecánicas:

TABLA XXXVII

ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa)

Ensayo / **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

Nota: fuente [15]

o Relación del contenido de humedad y Módulo de elasticidad:

Es el caso de la madera de Arrayán proveniente de la ciudad del Mocha, el cual obtuvo un contenido de humedad menor por lo tanto presentó un módulo de elasticidad mayor, lo

contrario pasa en la madera proveniente de la ciudad Ambato, el cual obtuvo un mayor contenido de humedad por ello un menor módulo de elasticidad.

En la TABLA XXXVIII se observa los módulos de elasticidad promedio ensayadas a flexión perpendicular a la fibra y el contenido de humedad que la madera de Arrayán presentó.

TABLA XXXVIII

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

Ciudad	Módulo de elasticidad (MPa)	Contenido de humedad (%)
Tisaleo	8132,27	13,65
Ambato	7858,68	13,80
Mocha	11237,48	12,78
Salasaca	9527,08	12,97

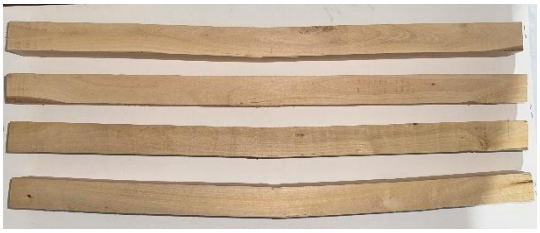
Ahora bien, las fallas presentadas en las probetas de madera de arrayán, producidas por el ensayo a flexión perpendicular a la fibra fueron:

a. Tensión simple
b. Tensión transversal
c. Tensión astillada

A continuación, la tabla 39 muestra los tipos de fallas presentadas en cada probeta ensayada a flexión, y también presenta fotografías de las fallas producidas por cada ciudad.

TABLA XXXIX

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

Ciudad	ID Probeta	Tipo de falla	Fotografía
Ambato	FA	a	
Tisaleo	FT	b	
Salasaca	FS	a	
Mocha	FM	c	

b. Tracción paralela a la fibra

A continuación, se representó una tabla con los resultados obtenidos del ensayo a tracción paralela de las cuatro ciudades Ambato, Salasaca, Tisaleo y Mocha donde la TABLA XL muestra la resistencia a tracción paralela la cual se calculó con la (6, mientras que la deformación unitaria, el módulo de elasticidad se calculó con la (8 y el esfuerzo admisible que se calculó con la (9 de la madera de Arrayán de las ciudades de Ambato, Tisaleo, Mocha y Salasaca.

TABLA XL

RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE ARRAYÁN DE LA CIUDAD DE AMBATO, TISALEO, MOCHA Y SALASACA

ID Muestra	Carga Máxima (N)	Resistencia a Tracción (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Resistencia a la Tracción	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo Admisible
FT	3412,820	1,562	5,04E-03	68,256	13549,007	32,503
FA	9223,760	7,266	2,34E-02	184,475	36618,628	87,845
FM	6576,150	5,307	1,71E-02	131,523	26107,530	62,630
FS	5680,680	4,347	1,40E-02	113,614	22552,485	54,102

En primer lugar, Tisaleo registra una carga máxima de 3412,820 N, el valor más bajo entre las cuatro ciudades, acompañado de un desplazamiento máximo de 1,562 mm y una deformación unitaria de 5,04E-03. Esto genera una resistencia a la tracción de 68,256 MPa, un módulo de elasticidad de 13549,007 MPa y un esfuerzo admisible de 32,503 MPa, valores que indican un comportamiento estructural razonable pero inferior al de otras ciudades, especialmente en términos de carga máxima y resistencia a la tracción.

Por otro lado, Ambato destaca como la ciudad con la mayor carga máxima, alcanzando 9223,760 N, así como el mayor desplazamiento máximo (7,266 mm) y deformación unitaria (2,34E-02). Esto se traduce en una resistencia a la tracción de 184,475 MPa, un módulo de elasticidad de 36618,628 MPa y un esfuerzo admisible de 87,845 MPa, posicionándose claramente como la madera con el mejor comportamiento estructural, ideal para aplicaciones que requieren alta resistencia y rigidez.

En el caso de Mocha, la carga máxima es de 6576,150 N, con un desplazamiento máximo de 5,307 mm y una deformación unitaria de 1,71E-02. Su resistencia a la tracción alcanza 131,523 MPa, acompañada de un módulo de elasticidad de 26107,530 MPa y un

esfuerzo admisible de 62,630 MPa, lo que indica un comportamiento mecánico intermedio, adecuado para aplicaciones estructurales moderadas.

Finalmente, Salasaca registra una carga máxima de 5680,680 N, siendo la segunda más baja, junto con un desplazamiento máximo de 4,347 mm y una deformación unitaria de 1,40E-02. La resistencia a la tracción es de 113,614 MPa, el módulo de elasticidad es de 22552,485 MPa y el esfuerzo admisible es de 54,102 MPa, reflejando un desempeño estructural moderado, pero inferior al de Mocha y Ambato.

En retrospectiva, los datos reflejan una clara variabilidad en las propiedades mecánicas de la madera de las diferentes ciudades. Ambato se posiciona como la ciudad con la mejor calidad de madera, debido a sus altos valores en carga máxima, resistencia a la tracción y módulo de elasticidad, mientras que Mocha y Salasaca presentan un comportamiento intermedio. Por otro lado, Tisaleo muestra los valores más bajos en la mayoría de los parámetros analizados, indicando un menor desempeño mecánico. Este análisis resalta la importancia de la caracterización técnica de los materiales, ya que estas propiedades son clave para garantizar un diseño estructural seguro y eficiente en proyectos de ingeniería civil.

- Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible:

A continuación, se resalta los resultados obtenidos del ensayo a tracción paralela de las probetas en madera de Arrayán de la provincia de Tungurahua, clasificándolos de acuerdo a los parámetros de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-MD) – Estructuras de madera.

TABLA XLI

MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa)

Grupo	**$E_{mìn}$ ($E_{0.05}$)**	**$E_{promedio}$**
“A”	9500	13000
“B”	7500	10000
“C”	5500	9000

Nota**:** fuente [15]

Donde:

$E_{mìn}$: valor mínimo para el cálculo de elementos individuales, tales como: columnas o vigas.

$E_{promedio}$: valor promedio y adecuado para el diseño de elementos en los que exista una acción en conjuntos, tales como: viguetas (para entablados) y pies derechos (en tabiques y/o entramados). [15]

En primer lugar, el módulo de elasticidad de Tisaleo, con un valor de 13,549.007 MPa, supera los valores característicos y promedios establecidos para los grupos "B" y "C", los cuales tienen promedios de 10,000 MPa y 9,000 MPa respectivamente. Además, este valor está muy cerca del promedio del grupo "A" (13,000 MPa) y supera el valor característico $E_{0.05}$ de dicho grupo (9500 MPa). Por lo tanto, se clasifica dentro del grupo "A", lo que evidencia un comportamiento mecánico destacado y apto para aplicaciones estructurales exigentes.

Por otro lado, Ambato, con un módulo de elasticidad de 36,618.628 MPa, excede ampliamente los valores establecidos para todos los grupos definidos por la NEC-SE-MD. Este resultado es notablemente superior al promedio del grupo "A" (13,000 MPa), reflejando una calidad mecánica excepcional. Por lo tanto, el módulo de elasticidad de Ambato se clasifica más allá del grupo "A", indicando un material sobresaliente en términos de rigidez y resistencia.

En el caso de Mocha, el módulo de elasticidad obtenido es de 26,107.530 MPa, valor que también supera significativamente los límites del grupo "A". Este módulo de elasticidad es más del doble del promedio del grupo "A" y se posiciona muy por encima del $E_{0.05}$ de dicho grupo. Por ende, al igual que Ambato, Mocha se clasifica fuera de los rangos definidos por la NEC-SE-MD, reflejando un material de excelente desempeño estructural.

Finalmente, Salasaca presenta un módulo de elasticidad de 22,552.485 MPa, el cual, al igual que los casos de Ambato y Mocha, excede considerablemente los valores establecidos por la NEC-SE-MD. Este resultado supera ampliamente el promedio y el $E_{0.05}$ del grupo "A", lo que posiciona a Salasaca fuera de los rangos del grupo "A" y demuestra que su madera presenta una calidad mecánica superior, adecuada para aplicaciones estructurales de alta exigencia.

En general, los módulos de elasticidad de Ambato, Mocha y Salasaca se destacan como valores excepcionales, superando ampliamente los límites establecidos por la NEC-SE-MD, lo que evidencia un comportamiento mecánico sobresaliente y de alta rigidez. Por otro lado, Tisaleo, con un módulo de elasticidad que se encuentra dentro del rango del grupo "A", demuestra un desempeño mecánico notable pero ligeramente inferior al de las otras ciudades.

A continuación, el esfuerzo admisible de Tisaleo, con un valor de 32.503 MPa, supera ampliamente los valores máximos establecidos para los grupos "A" (21.00 MPa), "B" (15.00 MPa) y "C" (10.00 MPa). Esto clasifica a Tisaleo fuera de los rangos definidos por la norma, evidenciando un comportamiento mecánico excepcional que lo hace apto para aplicaciones estructurales de alta exigencia.

Por otro lado, el esfuerzo admisible de Ambato, con un valor de 19.080 MPa, se encuentra por debajo del límite del grupo "A" (21.00 MPa) pero supera claramente los valores máximos de los grupos "B" y "C". Esto permite clasificar a Ambato dentro del grupo "B", lo que indica un desempeño estructural adecuado para aplicaciones de rigidez moderada, aunque inferior al grupo más exigente.

En el caso de Mocha, con un esfuerzo admisible de 62.630 MPa, el valor obtenido supera con creces los límites de los grupos establecidos por la NEC-SE-MD, incluido el grupo "A". Por lo tanto, Mocha se clasifica fuera de los rangos normativos, reflejando un comportamiento mecánico sobresaliente y demostrando propiedades de alta resistencia que exceden los requisitos normativos para madera estructural.

Sin embargo, Salasaca registra un esfuerzo admisible de 54.102 MPa, siguiendo el mismo patrón que Mocha y Tisaleo. Este valor es significativamente superior al límite del grupo "A" y a los de los grupos "B" y "C". Por ende, Salasaca se clasifica fuera de los rangos establecidos por la norma, evidenciando un material de calidad estructural superior y adecuado para aplicaciones altamente exigentes.

Estos resultados resaltan la importancia de la caracterización del material según su origen, con el fin de garantizar un uso adecuado en proyectos de construcción. Estos tres grupos estructurales deben resistir los siguientes esfuerzos ante cargas mecánicas:

TABLA XLII

ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa)

Ensayo / **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

Nota: fuente [15]

- Relación del contenido de humedad y Módulo de elasticidad:

La relación que existe entre el contenido de humedad y el módulo de elasticidad de la madera de Arrayán es directamente proporcional, debido a que entre menor contenido de humedad posee la madera tendrá un mayor módulo de elasticidad, es decir, tendrá una mayor resistencia a las deformaciones.

En la

TABLA XXXVIII se observa los módulos de elasticidad promedio ensayadas a flexión perpendicular a la fibra y el contenido de humedad que la madera de Arrayán presentó.

TABLA XLIII

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

Ciudad	Módulo de elasticidad (MPa)	Contenido de humedad (%)
Tisaleo	13549,01	13,41
Ambato	36618,63	12,88
Mocha	26107,53	13,16
Salasaca	22552,49	12,92

En el caso de la madera de Arrayán proveniente de la ciudad del Ambato, el cual obtuvo un contenido de humedad menor por lo tanto presentó un módulo de elasticidad mayor, lo contrario pasa en la madera proveniente de la ciudad Tisaleo, el cual obtuvo un mayor contenido de humedad por ello un menor módulo de elasticidad.

Ahora bien, las fallas presentadas en las probetas de madera de arrayán, producidas por el ensayo a tracción perpendicular a la fibra fueron:

a. Tensión cortes limpios
b. Combinados de tensión y corte
c. Tensión cortante

A continuación, la TABLA XLIV muestra los tipos de fallas presentadas en cada probeta ensayada a flexión, y también presenta fotografías de las fallas producidas por cada ciudad.

TABLA XLIV

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

Ciudad	ID Probeta	Tipo de falla	Fotografía
Ambato	FA	b	
Tisaleo	FT	c	
Salasaca	FS	a	
Mocha	FM	a	

c. Compresión paralela a la fibra

A continuación, se representó en 2 tablas los resultados obtenidos del ensayo a compresión paralela de las cuatro ciudades Ambato, Salasaca, Tisaleo y Mocha donde la

TABLA XLV muestra las cargas desplazamientos, mientras que la TABLA XLVI presenta el esfuerzo en el límite proporcional que fue calculado con la ecuación (11), su resistencia a la compresión máxima calculada con la ecuación (10), el módulo de elasticidad se calculó con la ecuación (12) y el esfuerzo admisible que se calculó con la ecuación (13) de la madera de Arrayán.

TABLA XLV

CARGAS, DESPLAZAMIENTOS Y DEFORMACIÓN UNITARIA DE LA MADERA DE ARRAYÁN DE LAS CIUDADES AMBATO, MOCHA, TISALEO Y SALASACA

ID Muestra	Carga máxima (N)	Desplazamiento en carga máxima (mm)	Carga en el límite proporcional (N)	Desplazamiento en el límite proporcional (mm)	Deformación Unitaria (mm/mm)
FT	23580,600	2,417	18959,170	1,175	1,18E-02
FA	24756,200	3,331	18050,670	1,141	1,14E-02
FM	23920,900	2,373	16306,960	0,877	8,77E-03
FS	26725,000	2,633	21354,900	1,520	1,52E-02

TABLA XLVI

ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA A LA COMPRESION, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE ARRAYÁN DE LAS CIUDADES AMBATO, TISALEO, MOCHA Y SALASACA

ID Muestra	Esfuerzo en el límite proporcional (MPa)	Resistencia a compresión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
FT	30,335	37,729	2580,960	18,864
FA	28,881	39,610	2530,293	19,805
FM	26,091	38,273	2973,497	19,137
FS	34,168	42,760	2248,559	21,380

Los datos obtenidos de las tablas corresponden a un ensayo de flexión realizado en madera de arrayán de las ciudades de Ambato, Tisaleo, Mocha y Salasaca. En primer lugar, al analizar las cargas y deflexiones en la

TABLA XLV, se observa que la probeta sometida a compresión de Salasaca (FS), presenta la mayor carga máxima, alcanzando un valor de 26725 N, lo que indica su capacidad para soportar mayores esfuerzos antes de fallar. Por otro lado, la probeta sometida a compresión de Tisaleo (FT), tiene la menor carga máxima con 23580,600 N, lo que sugiere una madera menos resistente. En cuanto al desplazamiento en carga máxima, se destaca la Probeta sometida a Compresión de Ambato (FA) con 3,331 mm, lo que evidencia un comportamiento más deformable, sin embargo, FM muestra la menor deflexión, con solo 2,373 mm.

Además, si consideramos las cargas en el límite proporcional, se observa que la probeta sometida a compresión de Salasaca (FS), registra el valor más alto, alcanzando 21354,900 N, manteniendo su superioridad con una deformación unitaria de 0.0152mm/mm lo que demuestra un mejor desempeño en el rango elástico. Sin embargo, FM tiene el valor más bajo con 16306,960 N, confirmando su menor capacidad. Respecto al desplazamiento en el límite proporcional existe una clara diferencia entre los valores posicionándose como el primero FS con un valor de 1,520 mm.

Por otra parte, al examinar las propiedades mecánicas en la TABLA XLVI, sobresale nuevamente la probeta FS, que presenta el mayor esfuerzo en el límite proporcional con 34,168 MPa y una resistencia a la compresión de 42,760 MPa, posicionando la como la madera más resistente y adecuada para aplicaciones estructurales exigentes. En contraste, FM muestra el valor más bajo en el esfuerzo del límite proporcional junto con FT que tiene la menor resistencia a compresión con 26,091 MPa y 37,729 MPa, respectivamente, lo que sugiere un comportamiento menos favorable. En términos del módulo de elasticidad, FM lidera con 2973,497 MPa, indicando mayor rigidez, mientras que FS tiene el menor módulo con 2248,559 MPa, reflejando mayor flexibilidad. Finalmente, al evaluar el esfuerzo admisible, FS mantiene su superioridad con 21,380 MPa, mientras que FT, tiene el valor más bajo con 18,864 MPa.

En resumen, se puede concluir que la madera de arrayán en Salasaca (FS) es la más resistente, lo que la hace ideal para aplicaciones estructurales. Por el contrario, la madera de arrayan de Mocha(FM) y Tisaleo (FT) presenta menor calidad mecánica, siendo menos adecuada para usos exigentes. Sin embargo, la madera de Mocha (FM) destaca por su buen desempeño en el rango elástico, mientras que la de Ambato (FA) ofrece propiedades intermedias y mayor deformabilidad, lo que podría ser útil en aplicaciones secundarias. Por tanto, sería recomendable realizar estudios adicionales para correlacionar estas propiedades con las condiciones de crecimiento y procesamiento de la madera en cada ciudad, optimizando así su uso en diferentes aplicaciones.

o Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible:

A continuación, se resalta los resultados obtenidos del ensayo a compresión paralela de las probetas de madera de Arrayán de la provincia de Tungurahua, clasificándolos de acuerdo a los parámetros de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-MD) – Estructuras de madera.

TABLA XLVII

MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa)

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

Nota**:** fuente [15]

Donde:

$E_{mìn}$: valor mínimo para el cálculo de elementos individuales, tales como: columnas o vigas.

$E_{promedio}$: valor promedio y adecuado para el diseño de elementos en los que exista una acción en conjuntos, tales como: viguetas (para entablados) y pies derechos (en tabiques y/o entramados). [15]

Al analizar los valores obtenidos para el módulo de elasticidad en los ensayos a compresión módulos de elasticidad obtenidos son los siguientes: Tisaleo (FT) con 2.580,960 MPa, Ambato (FA) con 2.530,293 MPa, Mocha (FM) con 2.973,497 MPa y Salasaca (FS) con 2.248,559 MPa. Al compararlos con los rangos normativos, se observa que ninguno de estos valores cumple con los mínimos requeridos para clasificar dentro de los grupos establecidos por la NEC-SE-MD. Los valores obtenidos son significativamente más bajos, lo que indica que la rigidez de la madera de arrayán ensayada en compresión está fuera del rango típico considerado para maderas estructurales según la norma ecuatoriana.

Esta diferencia puede atribuirse a factores como la variabilidad intrínseca del material, las condiciones de crecimiento de la madera en cada localidad o la metodología de ensayo aplicada. Adicionalmente, los resultados sugieren que la madera de arrayán analizada podría no ser ideal para aplicaciones donde la rigidez es un criterio fundamental, ya que su capacidad de

deformación está por debajo de los estándares normativos mínimos. Sin embargo, podría tener potencial para aplicaciones no estructurales o en situaciones donde los requerimientos de rigidez sean menores.

En conclusión, aunque los resultados muestran una baja rigidez relativa, es importante considerar otros factores, como la resistencia o el esfuerzo admisible, antes de descartar el material para ciertas aplicaciones. Es recomendable investigar las razones detrás de los bajos valores obtenidos y realizar ensayos complementarios para una evaluación más completa. De acuerdo a los esfuerzos admisibles obtenidos para las ciudades de Tisaleo, Ambato, Mocha y Salasaca, comparándolos y clasificándolos según los rangos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-MD) – Estructuras de Madera.

Los esfuerzos admisibles obtenidos son: Tisaleo (FT) con 18,864 MPa, Ambato (FA) con 19,805 MPa, Mocha (FM) con 19,137 MPa y Salasaca (FS) con 21,380 MPa. Al compararlos con los rangos normativos, se observa que todos los valores superan ampliamente los mínimos establecidos por la NEC-SE-MD incluso para el grupo con mayor exigencia, el Grupo "A". Esto sugiere que la madera de arrayán tiene un excelente desempeño en términos de esfuerzo admisible para compresión paralela, lo que la hace apta para aplicaciones estructurales en las que la capacidad de soportar esfuerzos en esta dirección es fundamental.

En particular, el esfuerzo admisible más alto se presenta en la localidad de Salasaca (21,380 MPa), superando por un margen considerable el valor normativo de 14,50 MPa del Grupo "A". Esto indica que la madera de esta localidad podría ser clasificada como un material de alta calidad estructural. Por su parte, los resultados de Tisaleo, Ambato y Mocha también demuestran un desempeño destacado, manteniéndose dentro de rangos similares y bien por encima de los valores normativos establecidos.

En conclusión, los resultados evidencian que la madera de arrayán analizada tiene un excelente desempeño frente a la compresión paralela según los parámetros de la NEC-SE-MD, siendo adecuada para aplicaciones estructurales exigentes. Estos hallazgos resaltan el potencial del material para ser utilizado en elementos estructurales como columnas o postes, donde la compresión es un esfuerzo predominante.

Estos resultados resaltan la importancia de la caracterización del material según su origen, con el fin de garantizar un uso adecuado en proyectos de construcción. Estos tres grupos estructurales deben resistir los siguientes esfuerzos ante cargas mecánicas:

TABLA XLVIII

ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa)

Ensayo / 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

Nota: fuente [15]

- Relación del contenido de humedad y Módulo de elasticidad:

La relación que existe entre el contenido de humedad y el módulo de elasticidad de la madera de Arrayán es directamente proporcional, debido a que entre menor contenido de humedad posee la madera tendrá un mayor módulo de elasticidad, es decir, tendrá una mayor resistencia a las deformaciones.

En la

TABLA XXXVIII se observa los módulos de elasticidad promedio ensayadas a flexión perpendicular a la fibra y el contenido de humedad que la madera de Arrayán presentó.

TABLA XLIX

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

Ciudad	Módulo de elasticidad (MPa)	Contenido de humedad (%)
Tisaleo	2580,96	12,99
Ambato	2530,29	12,85
Mocha	2973,50	12,58
Salasaca	2248,56	13,21

Es el caso de la madera de Arrayán proveniente de la ciudad del Mocha, el cual obtuvo un contenido de humedad menor por lo tanto presentó un módulo de elasticidad mayor, lo contrario pasa en la madera proveniente de la ciudad Salasaca, el cual obtuvo un

mayor contenido de humedad por ello un menor módulo de elasticidad.

Ahora bien, las fallas presentadas en las probetas de madera de arrayán, producidas por el ensayo a compresión paralela a la fibra fueron:

a. División
b. Cepillado o enrollado final

A continuación, la TABLA L muestra los tipos de fallas presentadas en cada probeta ensayada a flexión, y también presenta fotografías de las fallas producidas por cada ciudad.

TABLA L

TIPOS FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE ARRAYÁN POR EL ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Ciudad	**ID Probeta**	**Tipo de falla**	**Fotografía**
Ambato	FA	b	
Tisaleo	FT	a	
Salasaca	FS	b	
Mocha	FM	a	

d. Análisis comparativo

Con relación a los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de la madera de canelo, se realizó un análisis comparativo en base a los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles promedios de cada ciudad, sometidas a flexión perpendicular y tracción paralela a la fibra.

○ Flexión perpendicular a la fibra:

A continuación, en la TABLA LI se muestra los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de cada ciudad, con relación al ensayo a flexión perpendicular a la fibra.

TABLA LI

MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE ARRAYÁN SOMETIDA A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Ciudad	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
Tisaleo	8132,27	31,31
Ambato	7858,68	19,08
Mocha	11237,48	29,46
Salasaca	9527,08	29,61

Los módulos elásticos corresponden a Mocha con 11237,48 MPa y Salasaca con 9527,08 MPa, siendo estos los dos valores más altos, mientras que Tisaleo con 8132,27 MPa y Ambato con 7858,68 MPa tienen los valores más bajos. Por otro lado, en cuanto al esfuerzo admisible, los valores más altos son 31,31 MPa para Tisaleo y 29,61 MPa para Salasaca, mientras que los más bajos son 19,08 MPa para Ambato y 29,46 MPa para Mocha.

Al enfocarnos en los valores más altos, Mocha destaca con el módulo elástico más elevado (11237,48 MPa), lo que indica que su madera tiene una alta rigidez y una capacidad superior para resistir deformaciones bajo carga. Salasaca, con el segundo módulo elástico más alto (9527,08 MPa), también muestra un comportamiento estructural favorable. En cuanto al esfuerzo admisible, Tisaleo tiene el mayor valor (31,31 MPa), evidenciando una alta capacidad de la madera para soportar esfuerzos antes de llegar a su límite, seguido de cerca por Salasaca (29,61 MPa), que también se posiciona como una opción estructural confiable.

Por el contrario, los valores más bajos reflejan ciertas limitaciones relativas en comparación con los más altos. El módulo elástico de Ambato (7858,68 MPa) y Tisaleo (8132,27 MPa) indica que estas localidades presentan maderas con menor rigidez, aunque aún dentro de rangos útiles para aplicaciones estructurales. En términos de esfuerzo admisible, Ambato tiene el valor más bajo (19,08 MPa), lo que podría limitar su uso en proyectos que requieran altas capacidades de carga, mientras que Mocha, con un valor de 29,46 MPa, se mantiene en un rango competitivo, pero ligeramente por debajo de Tisaleo y Salasaca.

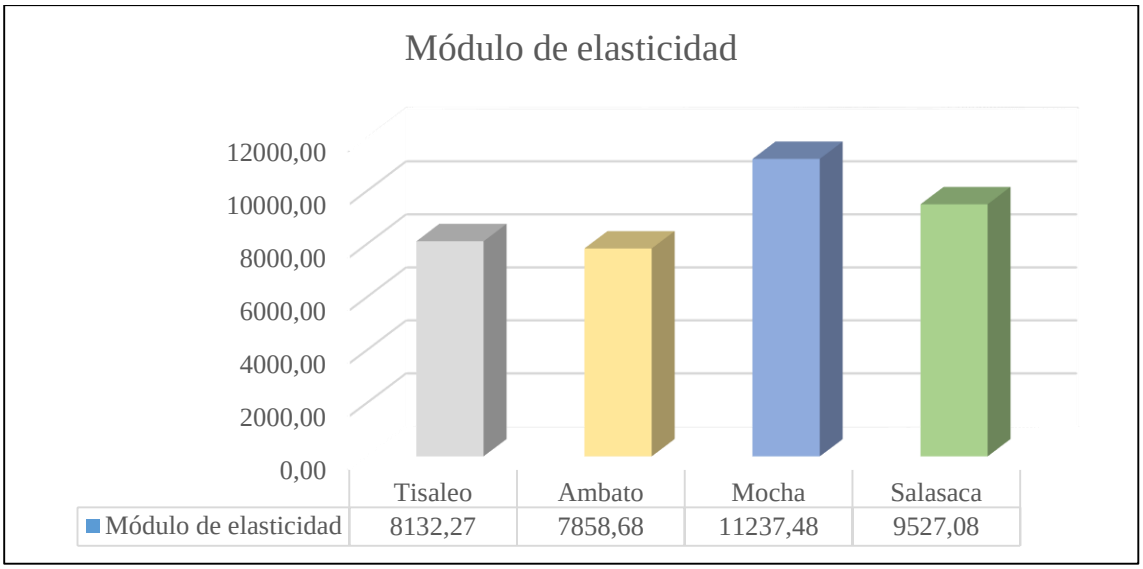


Fig. 11 Modulo de elasticidad de los ensayos a flexión

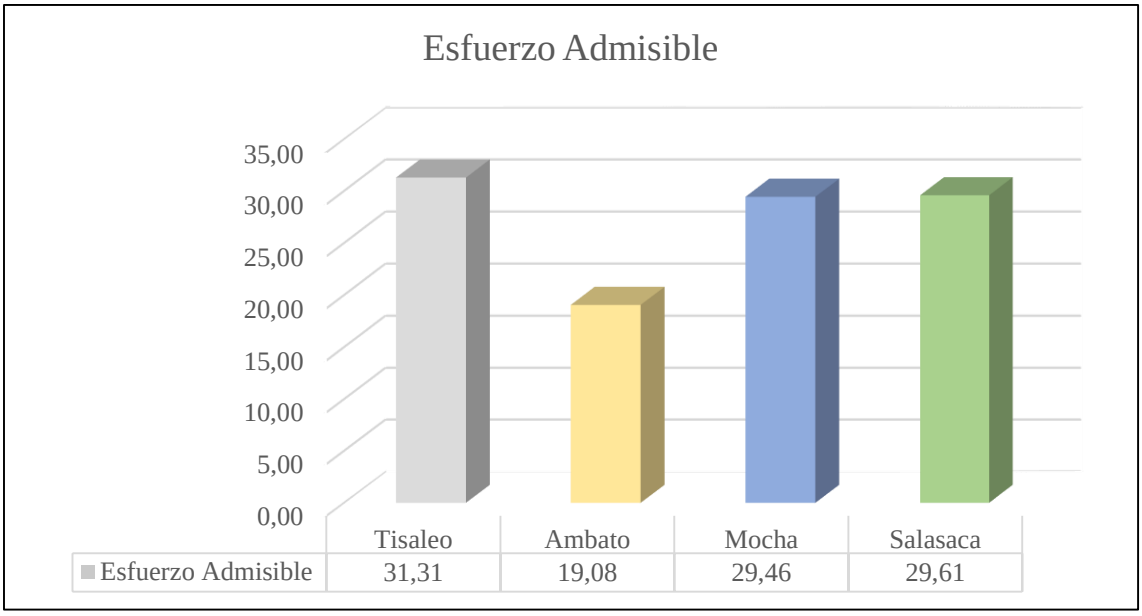


Fig. 12 Esfuerzo Admisible de los ensayos a flexión

A continuación, se comparó los resultados obtenidos de la madera de arrayán, tanto su módulo de elasticidad y su esfuerzo admisible, con varias especies maderables que se utilizan hoy en día en el sector de la construcción en el Ecuador.

TABLA LII

CONTENIDO DE HUMEDAD, MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE MADERA ESTRUCTURAL ECUATORIANA SOMETIDA A FLEXIÓN

PERPENDICULAR A LA FIBRA

Especie de madera	Contenido de humedad (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)	Referencia
Arrayán	13,30	9188,88	27,36	Autor
Canelo	9,04	9593,29	27,37	[16]
Eucalipto	15,80	9737,59	19,97	[17]
Capulí	15,15	7716,13	26,90	[18]
Seique	21,90	6049,00	16,27	[19]
Pino	17,61	6456,00	15,63	
Abío	20,11	10950,00	30,76	[20]
Ciprés	16,67	4861,00	14,00	
Intachi	18,20	12407,00	38,69	

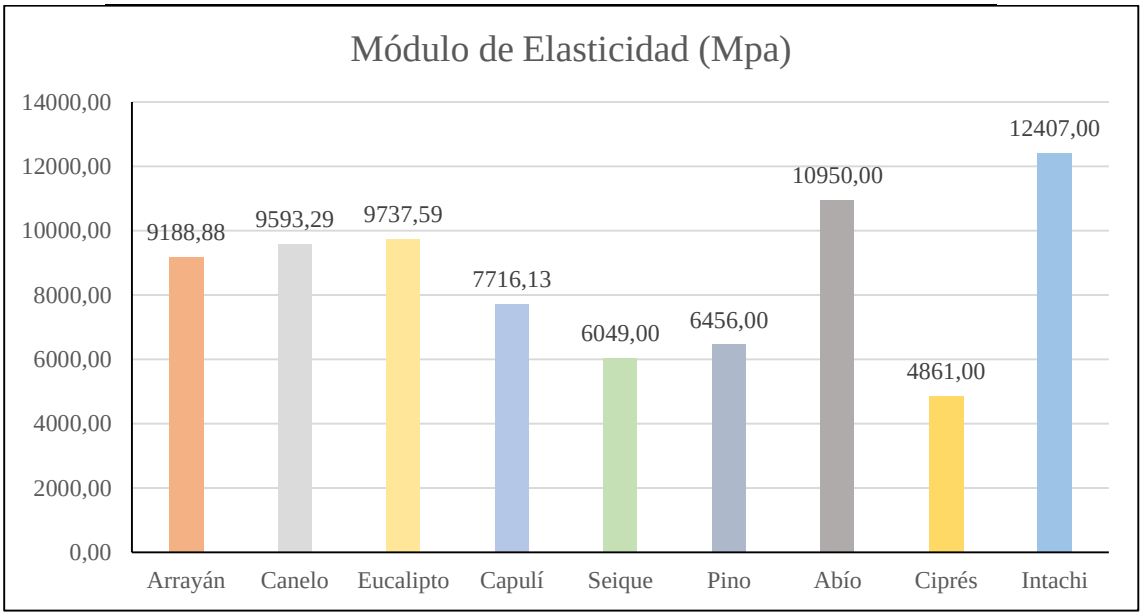


Fig. 13 Módulos de elasticidad sometidas a flexión perpendicular a la fibra de especies maderables

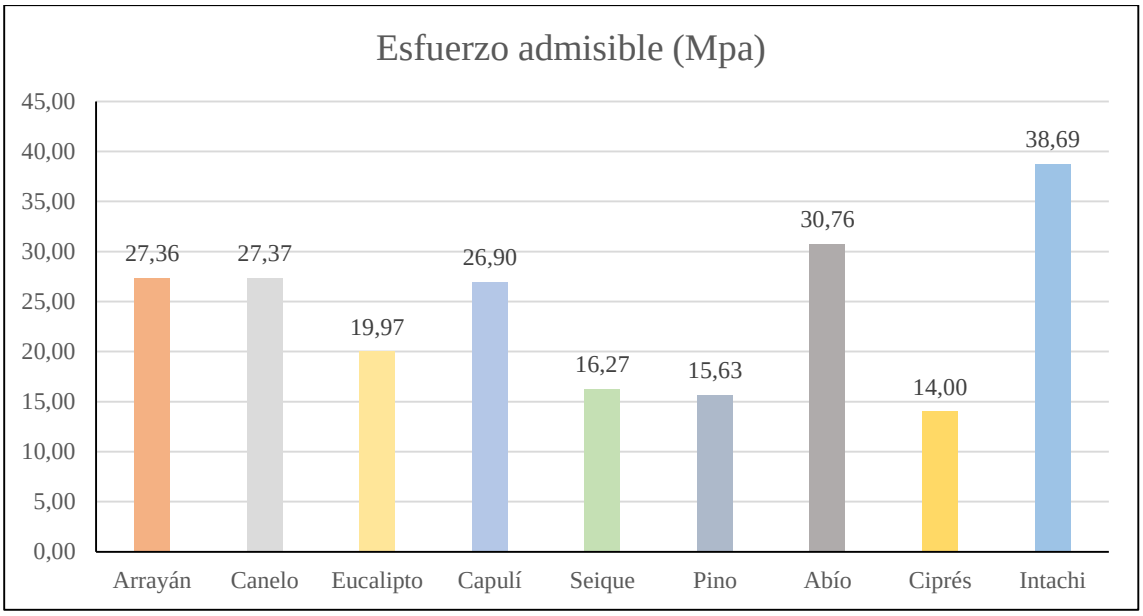


Fig. 14 Esfuerzos admisibles sometidas a flexión perpendicular a la fibra de especies maderables

Existen diferencias significativas que destacan las propiedades mecánicas de cada tipo de madera. El Intachi posee el módulo elástico más alto con 12407,00 MPa, lo que evidencia su gran capacidad para resistir deformaciones bajo carga, seguido del Abío con 10950,00 MPa, lo que también lo posiciona como una madera altamente rígida y adecuada para aplicaciones estructurales exigentes. En contraste, el Ciprés presenta el módulo elástico más bajo, con 4861,00 MPa, lo que limita su rigidez y su potencial para soportar cargas comparado con las demás especies, seguido del Seique con 6049,00 MPa y el Pino con 6456,00 MPa, que también se encuentran en los valores más bajos.

En términos del esfuerzo admisible, el Intachi nuevamente destaca con el valor más alto, 38,69 MPa, lo que lo hace altamente resistente a esfuerzos antes de alcanzar su límite. Este es seguido por el Abío con 30,76 MPa, lo que lo convierte en una opción confiable para soportar altas cargas. Por otro lado, el Ciprés, con un esfuerzo admisible de 14,00 MPa, y el Pino, con 15,63 MPa, presentan los valores más bajos, lo que limita su uso en aplicaciones que requieran capacidades de carga más altas. Asimismo, el Seique con 16,27 MPa también se encuentra en el rango inferior, siendo menos adecuado para estructuras de alta demanda.

Entre las especies con valores intermedios, el Eucalipto y el Canelo muestran módulos elásticos cercanos, 9737,59 MPa y 9593,29 MPa respectivamente, lo que los posiciona como maderas de rigidez aceptable para diversas aplicaciones estructurales. Además, ambos presentan esfuerzos admisibles relativamente altos, con 19,97 MPa para el Eucalipto y 27,37 MPa para el Canelo, lo que los hace viables para una amplia gama de proyectos. Por otro lado, el Arrayán y el Capulí, con módulos elásticos de 9188,88 MPa y 7716,13 MPa,

respectivamente, ofrecen buenas prestaciones mecánicas, complementadas con esfuerzos admisibles altos de 27,36 MPa y 26,90 MPa, respectivamente.

- Tracción paralela a la fibra:

A continuación, en la TABLA LIII se muestra los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de cada ciudad, con relación al ensayo a tracción paralela a la fibra.

TABLA LIII

MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE ARRAYÁN SOMETIDA A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

Ciudad	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
Tisaleo	13549,01	32,50
Ambato	36618,63	87,85
Mocha	26107,53	62,63
Salasaca	22552,49	54,10

Si hablamos de módulo elástico se observa que Ambato presenta el más alto con 36618,63 MPa, lo que indica una rigidez excepcional de la madera en esta localidad, seguido de Mocha con 26107,53 MPa, que también se encuentra en un rango elevado, demostrando buenas propiedades mecánicas para aplicaciones estructurales. Por otro lado, Tisaleo y Salasaca presentan valores inferiores, siendo 13549,01 MPa y 22552,49 MPa respectivamente. Aunque estos valores son más bajos, aún se encuentran dentro de un rango aceptable para ciertas aplicaciones, pero con menor capacidad de resistir deformaciones en comparación con los valores más altos.

En cuanto al esfuerzo admisible, Ambato nuevamente sobresale con el mayor valor, 87,85 MPa, lo que demuestra una notable capacidad para soportar cargas antes de alcanzar su límite. Esto lo hace ideal para estructuras que requieran altos niveles de resistencia. Mocha ocupa el segundo lugar con 62,63 MPa, lo que también lo posiciona como una opción confiable en términos de resistencia mecánica. Por el contrario, Salasaca y Tisaleo presentan valores más bajos de esfuerzo admisible, con 54,10 MPa y 32,50 MPa respectivamente. Si bien Salasaca mantiene una resistencia aceptable para cargas moderadas, Tisaleo muestra un desempeño considerablemente más limitado en este aspecto.

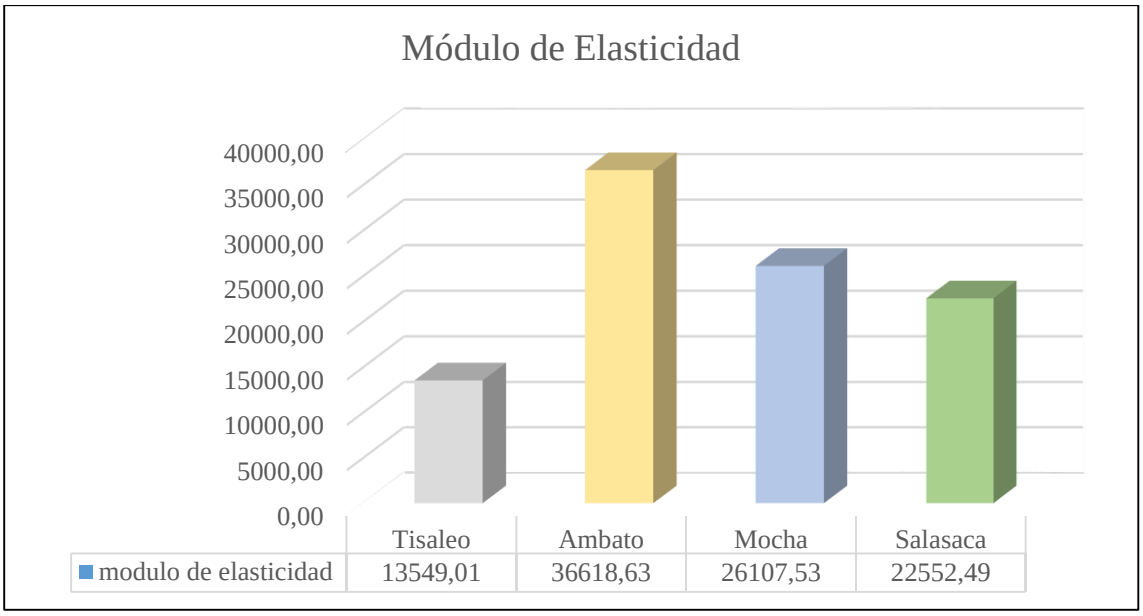


Fig. 15 Modulo de elasticidad de los ensayos a tracción

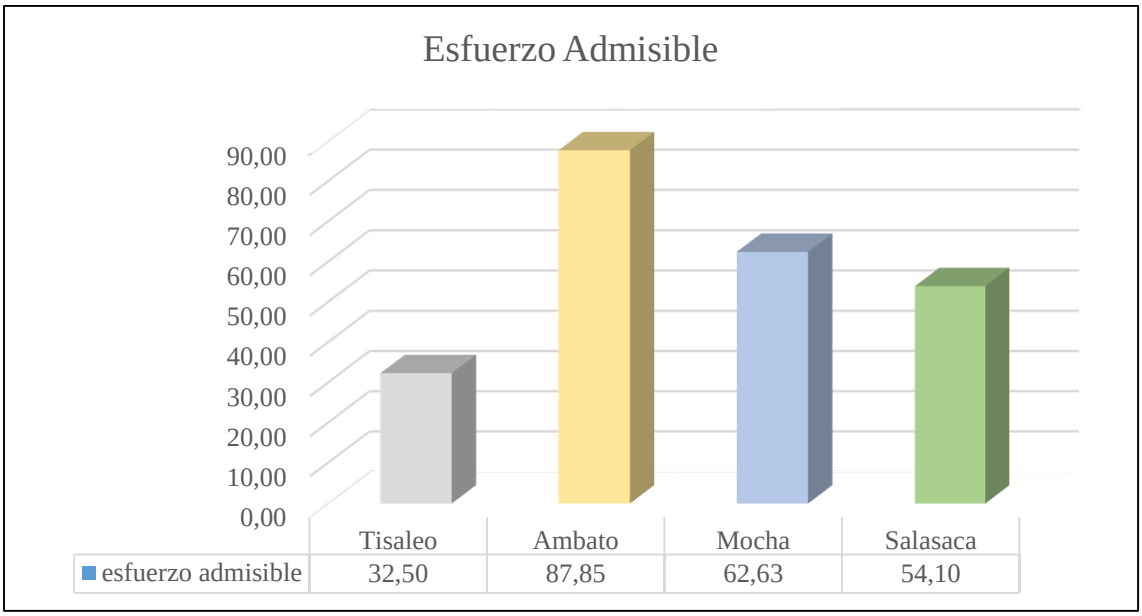


Fig. 16 Esfuerzo Admisible de los ensayos a tracción

A continuación, se comparó los resultados obtenidos de la madera de arrayán, tanto su módulo de elasticidad y su esfuerzo admisible, con varias especies maderables que se utilizan hoy en día en el sector de la construcción en el Ecuador.

TABLA LIV

CONTENIDO DE HUMEDAD, MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE MADERA ESTRUCTURAL ECUATORIANA SOMETIDA A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

Especie de madera	Contenido de humedad (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)	Referencia
Arrayán	13,09	24706,91	59,27	Autor
Canelo	10,45	3544,29	55,54	[16]
Eucalipto	15,80	1857,62	30,69	[17]
Capulí	15,15	1585,20	30,92	[18]
Seique	14,30	1191,00	14,06	[19]
Pino	13,90	1357,00	25,28	
Abío	15,83	2540,00	37,60	[20]
Ciprés	13,13	1130,00	23,02	
Intachi	18,47	1309,00	29,55	

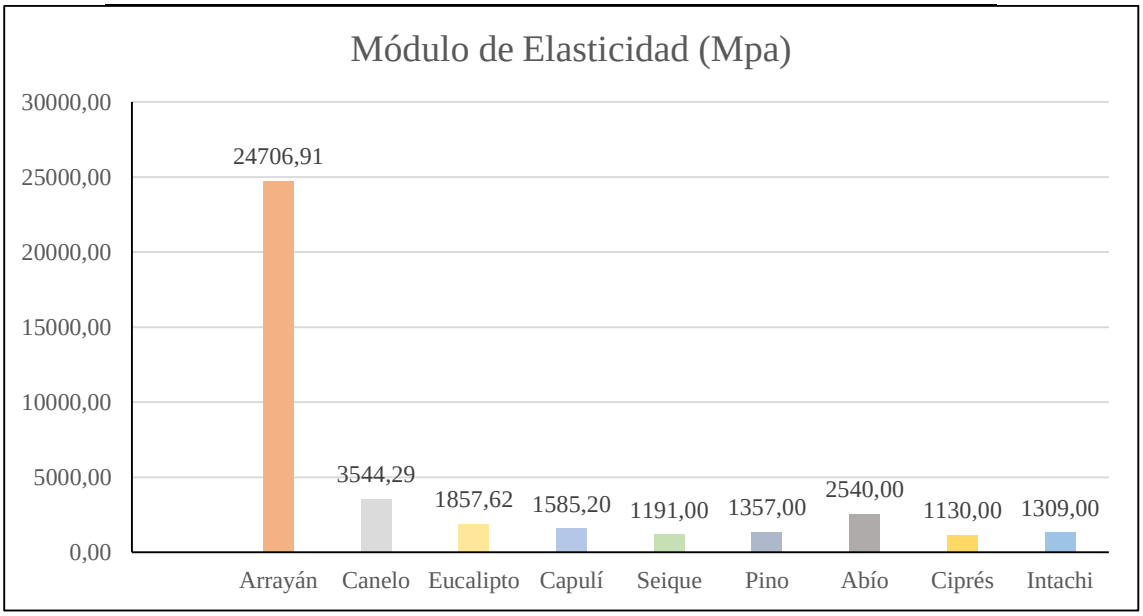


Fig. 17 Módulos de elasticidad sometidas a tracción paralela a la fibra de especies maderables

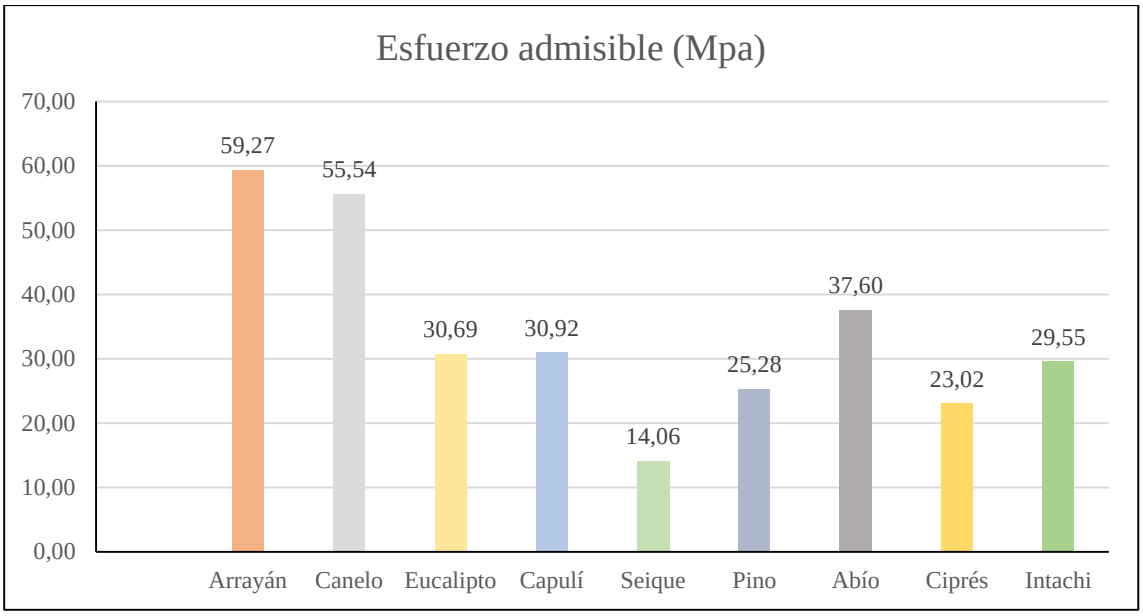


Fig. 18 Esfuerzos admisibles sometidas a tracción paralela a la fibra de especies maderables

Al analizar los datos proporcionados sobre el módulo elástico y el esfuerzo admisible en tracción paralela para las diferentes especies de madera, se observan notables diferencias en sus propiedades mecánicas. En primer lugar, el Arrayán presenta el módulo elástico más alto, con un valor de 24706,91 MPa, lo que indica una gran rigidez y capacidad para resistir deformaciones bajo carga. Asimismo, el esfuerzo admisible para esta especie es de 59,27 MPa, posicionándolo como una de las maderas más resistentes y adecuadas para aplicaciones estructurales que demanden altos niveles de rigidez y resistencia.

Por otro lado, el Canelo, aunque tiene un módulo elástico significativamente menor de 3544,29 MPa, muestra un esfuerzo admisible de 55,54 MPa, lo que lo convierte en una opción interesante para proyectos donde se priorice la resistencia a la tracción por encima de la rigidez. En contraste, especies como el Seique y el Ciprés, con módulos elásticos de 1191,00 MPa y 1130,00 MPa respectivamente, presentan los valores más bajos, indicando una baja capacidad para resistir deformaciones y cargas en tracción paralela. Estos valores sugieren que estas especies son menos adecuadas para aplicaciones estructurales exigentes.

El Eucalipto y el Capulí presentan módulos elásticos intermedios de 1857,62 MPa y 1585,20 MPa, respectivamente, con esfuerzos admisibles similares, de 30,69 MPa y 30,92 MPa. Esto indica que, aunque no son las especies más resistentes, pueden ser utilizadas en estructuras menos demandantes, donde su desempeño sería aceptable. Por su parte, el Abío, con un módulo elástico de 2540,00 MPa y un esfuerzo admisible de 37,60 MPa, se posiciona como una opción intermedia que combina propiedades razonables de rigidez y resistencia.

Finalmente, el Pino e Intachi, con módulos elásticos de 1357,00 MPa y 1309,00 MPa, y esfuerzos admisibles de 25,28 MPa y 29,55 MPa, respectivamente, ofrecen características mecánicas limitadas. Estas especies serían más adecuadas para aplicaciones no estructurales o de baja exigencia mecánica.

○ Compresión paralela a la fibra:

A continuación, en la TABLA LV se muestra los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de cada ciudad, con relación al ensayo a compresión paralela a la fibra.

TABLA LV

MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE ARRAYÁN SOMETIDA A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

Ciudad	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
Tisaleo	2580,96	18,86
Ambato	2530,29	19,80
Mocha	2973,50	19,14
Salasaca	2248,56	21,38

Se observan diferencias significativas tanto en el módulo elástico como en el esfuerzo admisible. En cuanto al módulo elástico, Mocha presenta el valor más alto, con 2973,50 MPa, lo que indica una mayor rigidez y capacidad para resistir deformaciones bajo carga compresiva, siendo una de las ciudades con mejor desempeño en este aspecto. Le sigue Tisaleo, con un módulo elástico de 2580,96 MPa, posicionándose como la segunda ciudad con mejor capacidad de resistencia a deformaciones en compresión.

En relación con el esfuerzo admisible, Salasaca lidera con un valor de 21,38 MPa, lo que la sitúa como la ciudad con mayor capacidad para soportar cargas compresivas dentro de los límites de seguridad establecidos. En segundo lugar, se encuentra Ambato, con un esfuerzo admisible de 19,80 MPa, mostrando también un buen comportamiento en términos de resistencia compresiva.

Por otro lado, los valores más bajos del módulo elástico corresponden a Salasaca, con 2248,56 MPa, lo que indica una menor rigidez en comparación con las demás ciudades, y a Ambato, con 2530,29 MPa, aunque este último valor sigue siendo relativamente cercano al de Tisaleo. En términos de esfuerzo admisible, los valores más bajos pertenecen a Mocha, con

19,14 MPa, y a Tisaleo, con 18,86 MPa, aunque ambos resultados se mantienen dentro de un rango aceptable según los datos analizados.

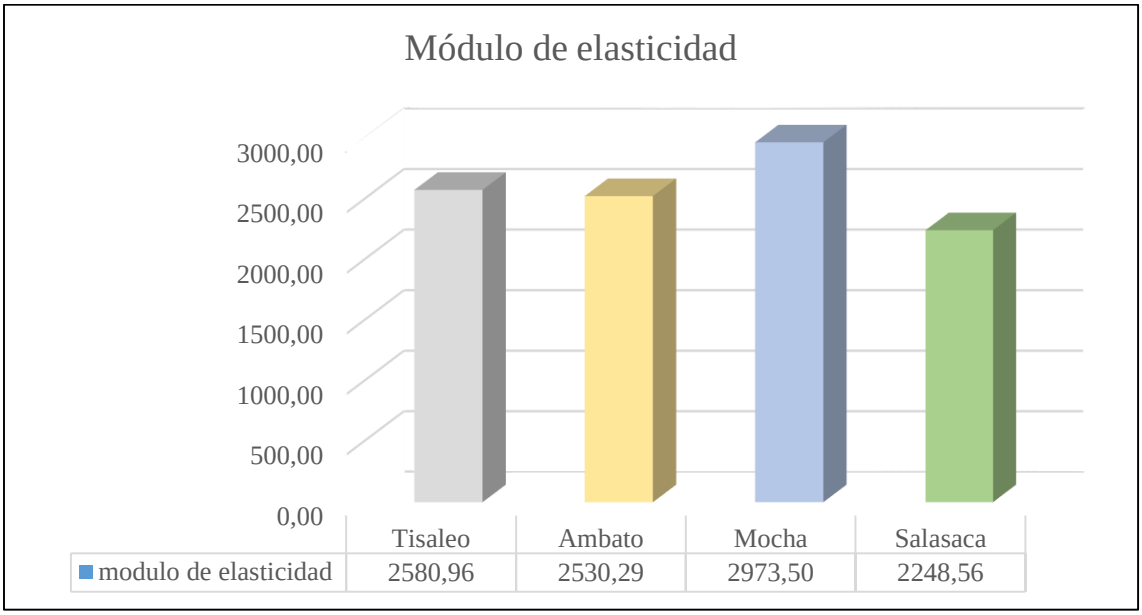


Fig. 19 Modulo de elasticidad de los ensayos a compresión

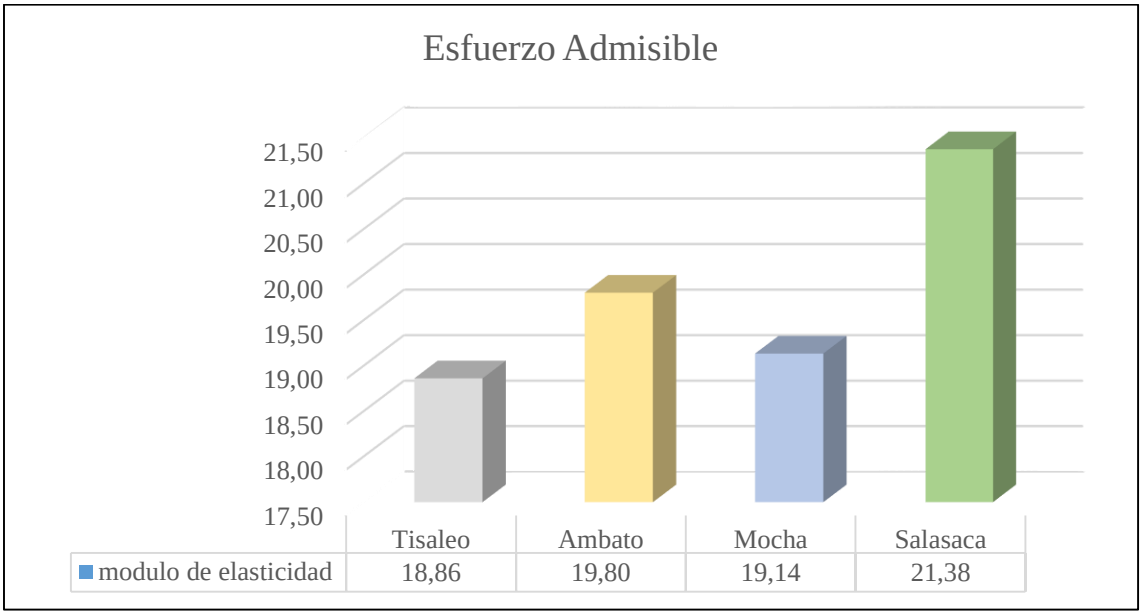


Fig. 20 Esfuerzo Admisible de los ensayos a compresión

A continuación, se comparó los resultados obtenidos de la madera de arrayán, tanto su módulo de elasticidad y su esfuerzo admisible, con varias especies maderables que se utilizan hoy en día en el sector de la construcción en el Ecuador.

TABLA XLIII.

CONTENIDO DE HUMEDAD, MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE MADERA ESTRUCTURAL ECUATORIANA SOMETIDA A COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Especie de madera	**Contenido de humedad (%)**	**Módulo de Elasticidad (MPa)**	**Esfuerzo admisible (MPa)**	**Referencia**
Arrayán	12,91	2583,33	19,80	Autor
Eucalipto	38,23	10268,00	20,90	[17]
Seique	17,29	8300,00	17,50	[19]
Pino	15,66	4620,00	15,01	
Abío	25,09	7140,00	15,11	[20]
Ciprés	16,39	4393,00	13,64	
Intachi	18,90	3197,00	18,97	

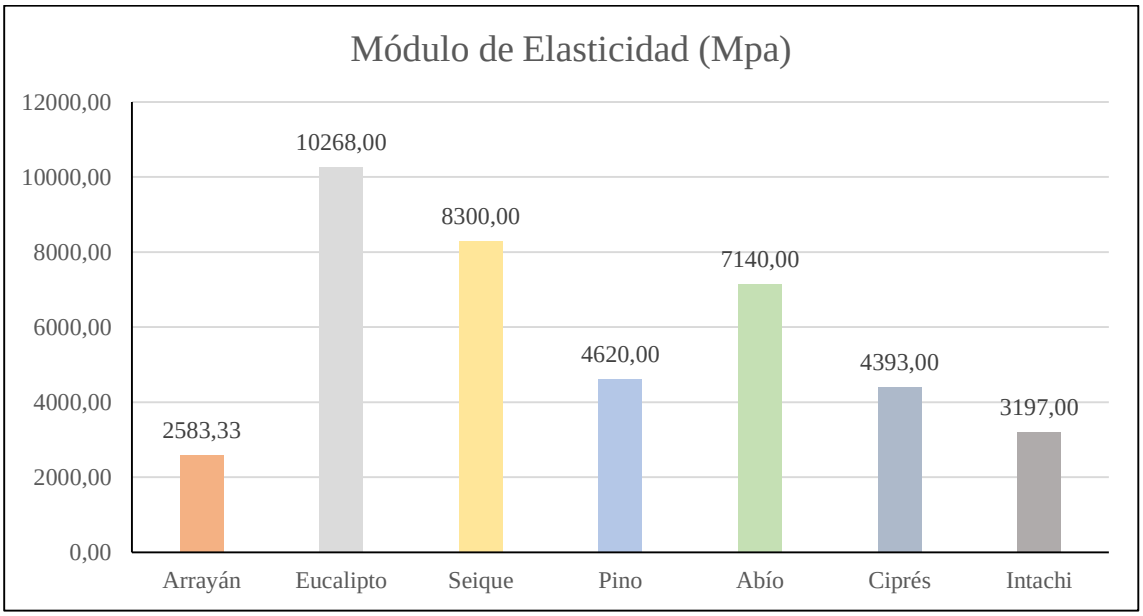


Fig. 21 Módulos de elasticidad sometidas a compresión paralela a la fibra de especies maderables

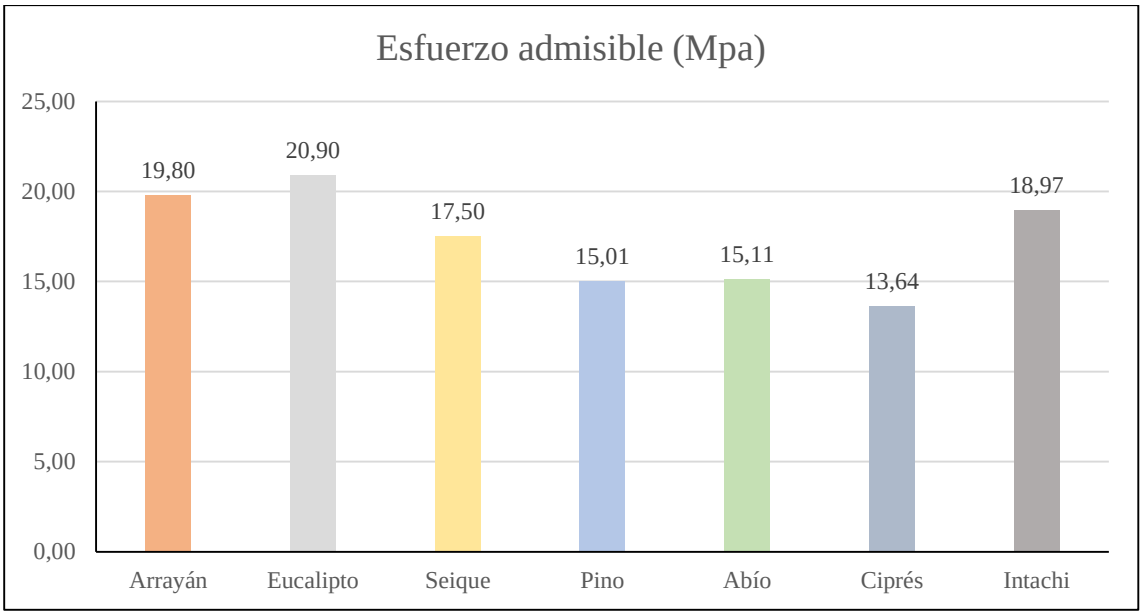


Fig. 22 Esfuerzos admisibles sometidas a compresión paralela a la fibra de especies maderables

Se observa una significativa variabilidad en los valores del módulo elástico y el esfuerzo admisible. La madera de eucalipto destaca por su módulo elástico más alto, alcanzando los 10.268 MPa, lo que indica una excelente rigidez y capacidad para resistir deformaciones bajo compresión paralela, posicionándose como la especie más adecuada para aplicaciones que requieran alta rigidez estructural. Le sigue la madera de seique, con un módulo elástico de 8300 MPa, que también presenta un buen desempeño en términos de rigidez, aunque en menor medida que el eucalipto.

En cuanto al esfuerzo admisible, el eucalipto vuelve a destacar con el valor más alto, de 20,90 MPa, lo que reafirma su capacidad para soportar cargas significativas sin superar los límites de seguridad. La madera de intachi también muestra un buen desempeño en esfuerzo admisible, con un valor de 18,97 MPa, posicionándose como una alternativa viable para aplicaciones estructurales que requieran resistencia moderada a la compresión paralela.

Por otro lado, las especies con menores valores de módulo elástico son el ciprés, con 4393 MPa, y el intachi, con 3197 MPa, lo que las clasifica como las menos rígidas del grupo analizado. En términos de esfuerzo admisible, los valores más bajos corresponden al ciprés, con 13,64 MPa, y al pino, con 15,01 MPa, lo que limita su uso en estructuras que requieran alta capacidad de carga en compresión paralela.

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS

La madera de Arrayán procedente del cantón Ambato en la provincia de Tungurahua es viable como material estructural para la construcción.

B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La madera de Arrayán procedente del cantón Ambato demuestra ser viable como material estructural para la construcción, según los resultados obtenidos en los ensayos de flexión perpendicular, tracción paralela y compresión paralela. Aunque su rigidez en flexión es ligeramente inferior a la de otras localidades, muestra una excelente capacidad de resistencia en tracción, destacándose como una de las mejores opciones en este tipo de esfuerzo. Además, su comportamiento en compresión es sólido y se encuentra dentro de los rangos requeridos por las normativas estructurales, lo que garantiza su capacidad para soportar cargas de manera eficiente. Estas propiedades combinadas evidencian que esta madera es adecuada para aplicaciones estructurales, especialmente en elementos sometidos a esfuerzos de tracción y compresión, confirmando su viabilidad para su uso en proyectos de construcción.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

- La elaboración de probetas de madera de Arrayán, procedentes de los cantones Ambato, Tisaleo, Mocha y Salasaca, siguiendo la normativa ASTM D143-94, permitió garantizar la uniformidad y calidad en la preparación de los especímenes, cumpliendo con las especificaciones necesarias para los ensayos. Se confeccionaron seis probetas por cada tipo de ensayo (tracción, compresión y flexión) en cada ciudad, lo que aseguró una muestra representativa para evaluar las propiedades mecánicas de la madera de Arrayán en función de su procedencia. Este procedimiento adecuado asegura la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos.
- Las propiedades mecánicas de la madera de Arrayán procedente de diferentes cantones de Tungurahua, se observa que los mejores resultados en tracción paralela corresponden a la madera de Ambato, con un módulo elástico de 36618,63 MPa y un esfuerzo admisible de 87,85 MPa, lo que la posiciona como la opción más resistente en esta propiedad. Por otro lado, Mocha destacó en flexión perpendicular con un módulo elástico de 11237,48 MPa y un esfuerzo admisible de 29,46 MPa, indicando su capacidad para soportar esfuerzos de este tipo. En compresión paralela, Mocha nuevamente lidera con un módulo elástico de 2973,50 MPa, aunque el esfuerzo admisible más alto corresponde a Salasaca con 21,38 MPa.
- Las propiedades mecánicas más bajas en flexión perpendicular para Ambato, con un módulo elástico de 7858,68 MPa y un esfuerzo admisible de 19,08 MPa, y en compresión paralela para Salasaca, con un módulo elástico de 2248,56 MPa, el valor más bajo entre las localidades analizadas. Esto evidencia una variabilidad en las propiedades dependiendo de la localidad de procedencia y confirma que, aunque la madera de Arrayán tiene potencial estructural, su desempeño óptimo dependerá del tipo de esfuerzo al que será sometida y del lugar de origen del material.
- El contenido de humedad, los valores obtenidos en los ensayos de flexión (13,30%), tracción (13,09%) y compresión (12,91%) se encuentran dentro de los rangos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015), que recomienda un contenido de humedad inferior al 15% para la madera

estructural. Este resultado asegura que las propiedades mecánicas evaluadas son representativas del comportamiento real del material en condiciones adecuadas para la construcción, cumpliendo con los requisitos necesarios para fines estructurales.

- De los datos obtenidos para el módulo elástico y el esfuerzo admisible en los ensayos de flexión, tracción paralela y compresión de la madera de Arrayán, se ha logrado establecer una tabla comparativa que posiciona esta madera como un material competitivo frente a otras especies evaluadas. En flexión, la madera de Arrayán presenta un módulo elástico de 9188,88 MPa y un esfuerzo admisible de 27,36 MPa, superando a especies como el Seique (6049,00 MPa, 16,27 MPa), el Pino (6456,00 MPa, 15,63 MPa) y el Ciprés (4861,00 MPa, 14,00 MPa), aunque es superada por el Intachi (12407,00 MPa, 38,69 MPa) y el Abío (10950,00 MPa, 30,76 MPa). En tracción, el Arrayán destaca con un módulo elástico de 24706,91 MPa y un esfuerzo admisible de 59,27 MPa, siendo significativamente superior a especies como el Canelo (3544,29 MPa, 55,54 MPa) y el Pino (1357,00 MPa, 25,28 MPa). En compresión, el módulo elástico del Arrayán es de 2583,33 MPa, inferior al del Eucalipto (10268,00 MPa) y el Seique (8300,00 MPa), pero su esfuerzo admisible de 19,80 MPa está dentro de un rango aceptable, superando al Ciprés (13,64 MPa) y al Pino (15,01 MPa). Este estudio proporciona una base de datos técnica fundamental para ayudar a profesionales y pre-profesionales en la selección adecuada de la madera de Arrayán como material estructural en la construcción, solventando la ausencia de registros previos sobre sus propiedades mecánicas en el contexto ecuatoriano.

II. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar un control estricto del contenido de humedad y otras variables durante la elaboración de las probetas, asegurando que los resultados obtenidos sean representativos y homogéneos, facilitando una mejor comparación entre los diferentes cantones de Tungurahua.
- Basado en las propiedades mecánicas, se sugiere priorizar el uso de la madera de Arrayán de cantones como Mocha para aplicaciones que requieran mayor resistencia a tracción paralela, mientras que la de Ambato podría ser utilizada en elementos estructurales sometidos a Tracción perpendicular por su buen desempeño en estas propiedades.
- Con el objetivo de facilitar el diseño y construcción estructural en la región, se recomienda realizar publicaciones o manuales técnicos que incluyan las tablas comparativas y los resultados de los ensayos, brindando herramientas prácticas a ingenieros, arquitectos y otros profesionales de la construcción en Ecuador.

BIBLIOGRAFÍA

[1] V. Langarica, «Wood Construción de Madera en Altura», pp. 2-20, 2014.

[2] «Conozca la importancia del diseño estructural en edificaciones – Portal CDT». Accedido: 26 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.cdt.cl/conozca-la-importancia-del-diseno-estructural-en-edificaciones/

[3] F. N. Gonzales Guillén y F. Villasante Benavides, «Estado de conservación de Myrcianthes ferreyrae un árbol endémico de las lomas costeras del sur del Perú», *Rev. Peru. Biol.*, vol. 26, n.º 2, pp. 235-242, jul. 2019, doi: 10.15381/rpb.v26i2.16380.

[4] P. Espinoza, D. Proaño, y L. Peñafiel, *Catálogo de madera Estructural de Ecuador*, Universidad del Azuay. Azuay, 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/361899534_Catalogo_de_madera_Estructural_de_Ecuador

[5] «Introducción a las estructuras de madera Esfuerzos y solicitaciones.» Accedido: 13 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/2022/07/CURSO-DE-CARPINTERIA-II-Clase-3.pdf

[6] M. García y S. Benedetti, *La madera como material para la construcción: mitos, realidades y oportunidades*. 2021. doi: 10.52904/20.500.12220/31358.

[7] J. M. F. Cruz, «Caracterizacion de las Propiedades Químicas, Físicas y Mecánicas de la madera de eucalyptus nintens procedente de plantaciones pertenecientes a la empresa Aglomerados Cotopaxi S:A., canton Latacunga, provincia de Cotopaxi», pp. 16-20, 2019.

[8] «(PDF) Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas, organolépticas y anatómicas». Accedido: 29 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/358046315_Caracterizacion_de_la_madera_de_95_especies_forestales_del_sur_de_Ecuador_con_base_a_sus_propiedades_fisicas_organolepticas_y_anatomicas

[9] L. B. Peñafiel, A. L. Encalada, y D. P. Escandón, «La Madera en Arquitectura. Identificación y Caracterización de la Madera Estructural en el Ecuador», *Cuad. Cent. Estud. Diseño Comun.*, n.º 159, Art. n.º 159, may 2022, doi: 10.18682/cdc.vi159.6829.

[10] C. A. Devia Castillo, F. Reyes, I. Morales, M. Morris, y J. Pareja, «LOSAS EN MADERA COMO PROPUESTA DE SOLUCIÓN AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS», *Colomb. For.*, vol. 19, n.º 1, pp. 95-109, jun. 2016, doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a07.

[11] E. Hermoso, R. Mateo, J. C. Cabrero, y J. I. Fernández-Golfín, «Evaluación y análisis de propiedades estructurales de productos de madera», *Inf. Constr.*, vol. 67, n.º 537, p. e062, mar. 2015, doi: 10.3989/ic.13.061.

[12] «ASTM-D143-94.pdf». Accedido: 6 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://cdn.standards.iteh.ai/samples/16811/3f2454128fd9469c90f3b203f1f7f4de/ASTM-D143-94.pdf

[13] E. M. Jiménes y E. Camacho Omiste, *Madera - Manual - Diseno PADT - REFORT | PDF*. Accedido: 13 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.scribd.com/doc/179822759/Madera-Manual-Diseno-PADT-REFORT

[14] Z. A. Mendoza, Á. F. L. Chalán, C. S. Ayala, y N. A. Mendoza, «Especies forestales más aprovechadas en la región sur del Ecuador».

[15] «11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf». Accedido: 6 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf

[16] C. A. Ponce Romero, «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)»,

ago. 2024, Accedido: 13 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/42598

[17] J. L. Sánchez Dahua, «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)», sep. 2021, Accedido: 13 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33541

[18] D. E. Aldás Ramos, «Análisis de las propiedades mecánicas, 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 norma ecuatoriana de la construcción 2015 (NEC 2015)», mar. 2023, Accedido: 13 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/37504

[19] J. A. Acosta Naranjo, «Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Seique (Cedrelinga Catenaeformis) proveniente del cantón Tena provincia de Napo y su factibilidad como elemento estructural de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015)», sep. 2023, Accedido: 13 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/39500

[20] C. E. Cruz Salinas, «Análisis de las propiedades físico-mecánicas de madera estructural ecuatoriana y su aplicación en el diseño de vivienda social», sep. 2022, Accedido: 13 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/36301

ANEXOS

Anexo ¨ A": Fotografías ensayos y obtención de madera

Fotografía 1	**Fotografía 2**
 Árbol de arrayán recién cortado	 Árbol de arrayán sector Picaihua - Ambato
Fotografía 3	**Fotografía 4**
 Árbol de arrayán sector El Rosario - Salasaca	 Probeta de Tracción en madera de arrayán
Fotografía 5	**Fotografía 6**



Preparando la madera para formar las probetas

Fotografía 7



Horno eléctrico para el contenido de humedad

Fotografía 8



Probetas de arrayán para el contenido de humedad %

Fotografía 9



Probeta de Salasaca para contenido de humedad

Fotografía 10

	
Cortando la probeta de arrayán para ensayo a flexión	Colocando probeta de arrayán para ensayo a tracción

Anexo ¨ B": Norma ASTM D143-94

NOTICE: This standard has either been superseded and replaced by a new version or discontinued.
Contact ASTM International (www.astm.org) for the latest information.

Designation: D 143 – 94

Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber[1]

This standard is issued under the fixed designation D 143; 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 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 Forintek Canada Corp.), and other similar organizations, the methods naturally conform closely to the methods used by these institutions. These methods are the outgrowth of a study of both American and European experience and methods. The general adoption of these 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 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, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

1. Scope

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

1.1.1 These 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 D 5536. 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 SI values are given in parentheses and are provided for information only. 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:*

D 198 Methods for Static Tests of Timbers in Structural Sizes[2]

D 2395 Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Base Materials[2]

D 3043 Methods of Testing Structural Panels in Flexure[2]

D 3500 Test Method for Structural Panels in Tension[2]

D 4442 Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials[2]

D 4761 Test Method for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material[2]

D 5536 Practice for Sampling the Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties[2]

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines[3]

3. Summary of 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 methods. In addition, 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 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 Methods D 198 and Test Method D 4761), 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 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.

---

[1] These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-7 on Wood and are the direct responsibility of Subcommittee D07.01 on Fundamental Test Methods and Properties.

Current edition approved May 15, 1994. Published July 1994. Originally published as D 143 – 22 T. Last previous edition D 143 – 83.

[2] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.10.

[3] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

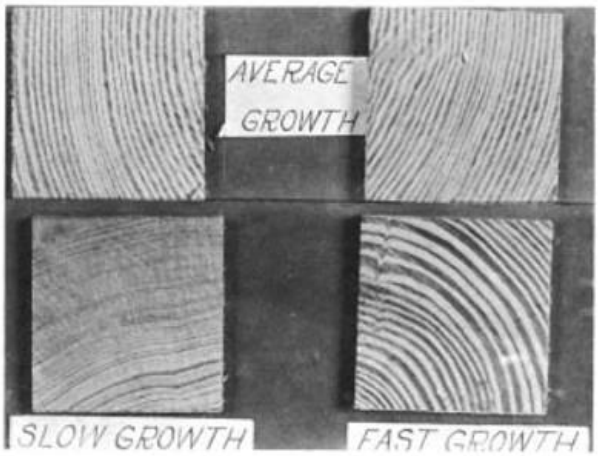


FIG. 1 Cross Sections of Bending Specimens Showing Different Rates of Growth of Longleaf Pine (2 by 2-in. (50 by 50-mm) Specimens)

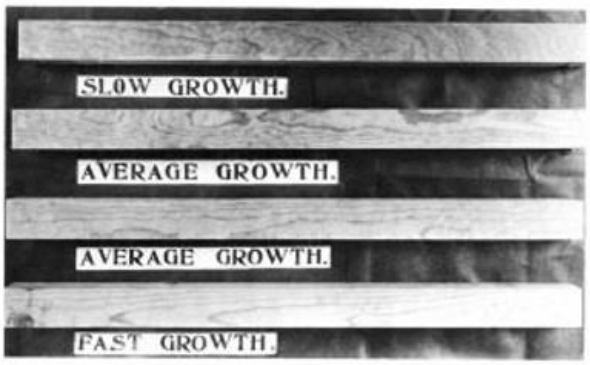


FIG. 2 Tangential Surfaces of Bending Specimens of Different Rates of Growth of Jeffrey Pine 2 by 2-in. (50 by 50 by 760-mm) Specimens

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).

NOTE 2—Details of laterally adjustable supports may be found in Fig. 1 of Methods D 3043.

8.3 *Bearing Block*—A bearing block of the form and size of

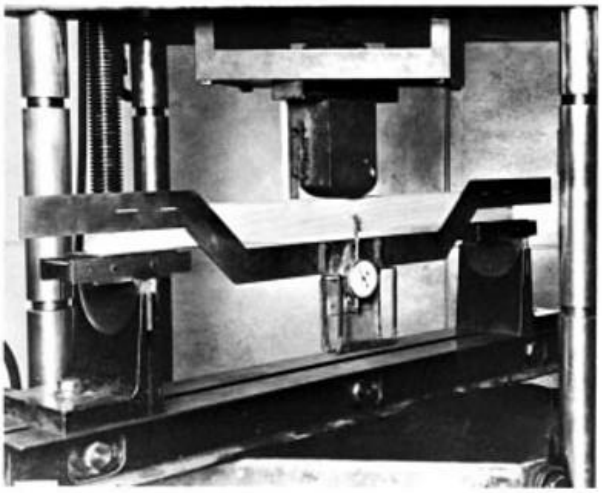


FIG. 3 Static Bending Test Assembly Showing Method of Load Application, Specimen Supported on Rollers and Laterally Adjustable Knife Edges, and Method of Measuring Deflection at Neutral Axis by Means of Yoke and Dial Attachment (Adjustable scale mounted on loading head is used to measure increments of deformation beyond the dial capacity.)

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.

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.

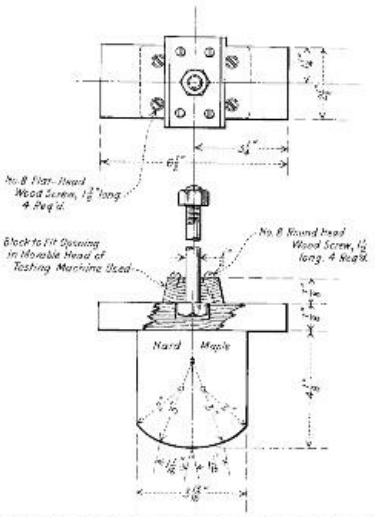


FIG. 4 Details of Bearing Block for Static Bending Tests

8.6 *Load-Deflection Curves*:

8.6.1 Load-deflection curves shall be recorded to or beyond the maximum load for all static bending tests. The curves shall be continued to a 6 in. (150 mm) deflection, or until the specimen fails to support a load of 200 lbf (890 N) for primary method specimens and to a 3 in. (76 mm) deflection or until the specimen fails to support a load of 50 lbf (220 N) for secondary method specimens.

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 to 0.001 in. (0.02 mm). After the proportional limit is reached, less refinement is necessary in observing deflections, but it is convenient to read them by means of the dial gage (Fig. 3) until it reaches the limit of its capacity, normally approximately 1 in. (25 mm). Where deflections beyond 1 in. are encountered, the deflections may be measured by means of the scale mounted on the loading head (Fig. 3) and a wire mounted at the neutral axis of the specimen of the side opposite the yoke. Deflections are read to the nearest 0.01 in. (0.2 mm) 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 3) although they may not occur at one of

the regular load or deflection increments.

NOTE 3—See Fig. 5 for a sample static bending data sheet form.

weighed immediately before test, and after the test a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut from

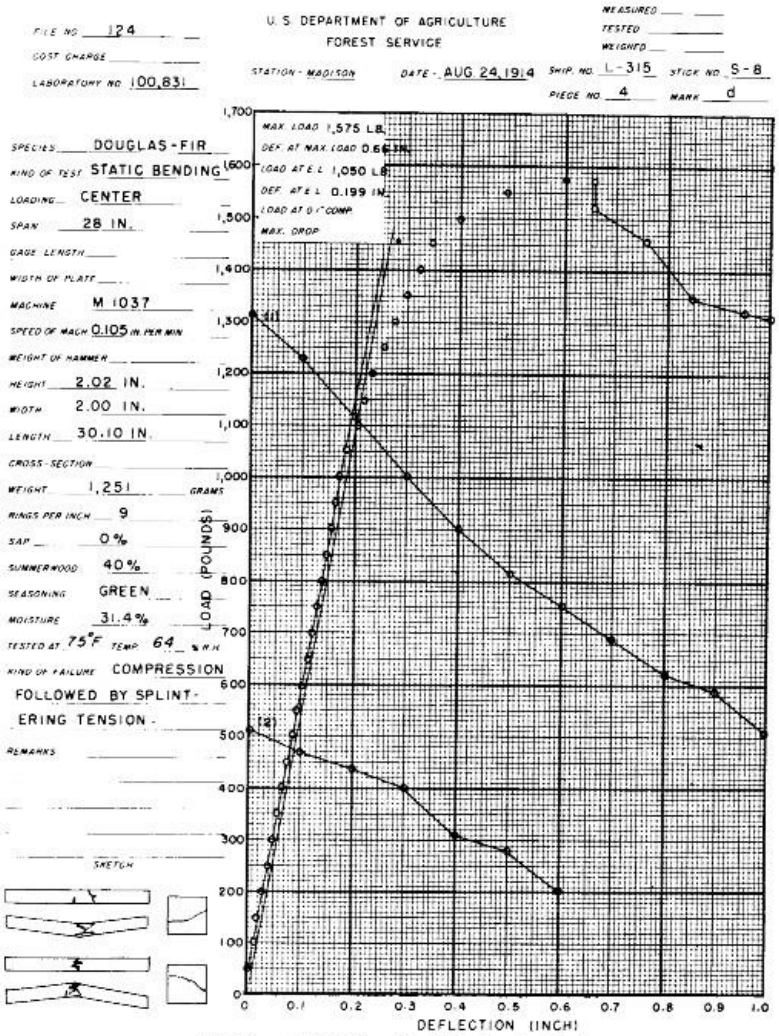


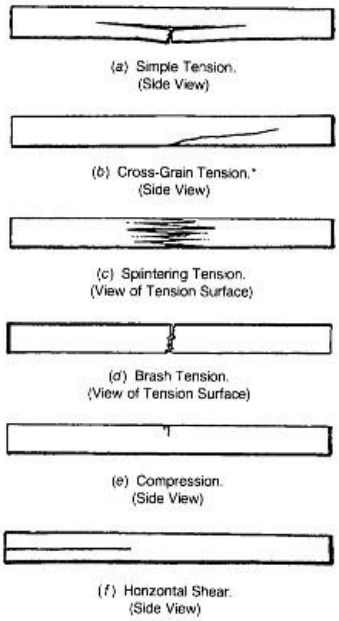
FIG. 5 Sample Data Sheet for Static Bending Test

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 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) 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).



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 have 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

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 4).

NOTE 4—See Fig. 7 for a sample compression-parallel-to-grain data sheet form.

9.4.2 Deformations shall be read to 0.0001 in. (0.002 mm).

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. 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*—A 50 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 5) giving the deflection for each drop and the set, if any, shall be made until the first failure occurs. This record

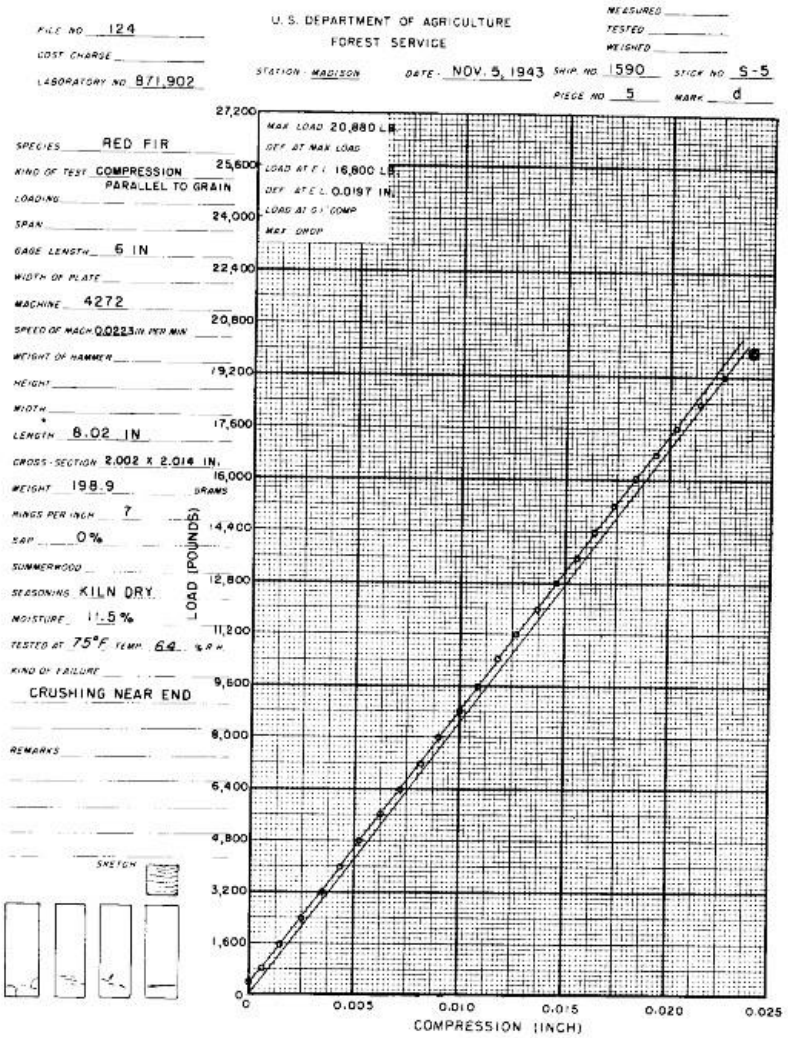


FIG. 7 Sample Data Sheet for Compression-Parallel-to-Grain Test

will also afford data from which the exact height of drop can be scaled for at least the first four falls.

NOTE 5—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 6) and described in accordance with the directions for static bending in 8.7.

NOTE 6—See Fig. 13 for a sample impact bending data sheet form. Fig. 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 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.

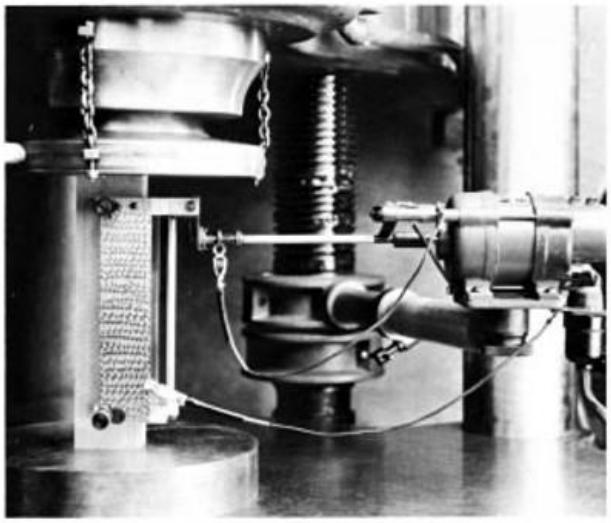


FIG. 8 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Using an Automatic Type of Compressometer to Measure Deformations (The wire in the lower right-hand corner connects the compressometer with the recording unit.)



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

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 7) (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 7—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 8).

NOTE 8—See Fig. 16 for sample data and computation sheet for the toughness test.

The toughness shall then be calculated as follows:

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

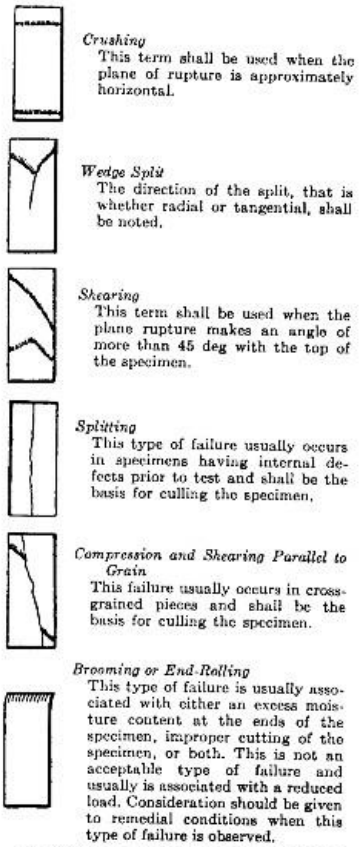


FIG. 10 Types of Failures in Compression

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 9), degrees, and
A_2 = final angle the pendulum makes with the vertical after failure of the test specimen, degrees.

NOTE 9—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).

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).



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



FIG. 12 Sample Drum Record of 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).

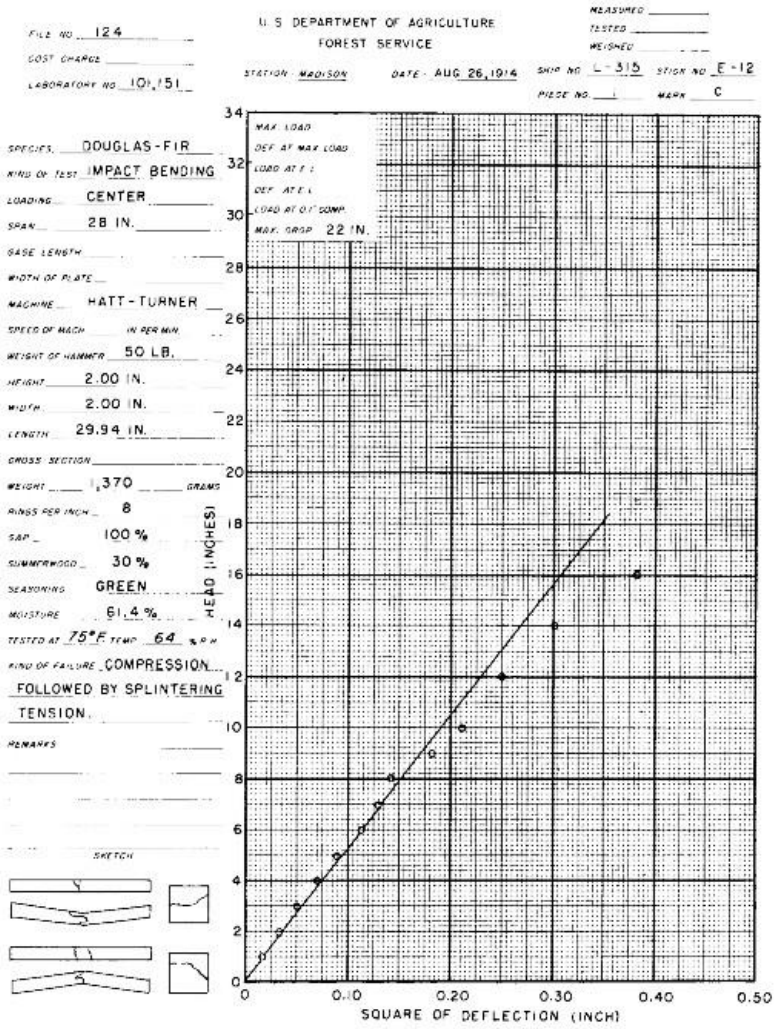


FIG. 13 Sample Data Sheet for Impact Bending Test

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 10) 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 10—See Fig. 18 for a sample compression-perpendicular-to-grain data sheet form.

12.5.2 Deflection readings shall be taken to 0.0001 in. (0.002 mm).

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"

IMPACT BENDING

L-315 (Ship No.) 7 (Piece No.) E-12 (Stock No.) C (Mark) Station MADISON Date Aug. 20, 1914 101.151 (Lab. No.) 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. Height 2.00 in. Width 2.00 in. Weight 1370 g.

Drop No.	Head.	Def.	Depth	Set.	Drop No.	Head.	Def.	Depth	Set.		
1	1.0	0.13	0.017		11	12.0	0.50	0.250		Sp. Gr. (oven dry),	0.698
2	2.0	0.18	0.032		12	14.0	0.55	0.302			0.432
3	3.0	0.22	0.048		13	16.0	0.62	0.384		P. S. at E. L.,	10 610
4	4.0	0.26	0.068		14	18.0	0.67	0.593		M. of R.,	1776
5	5.0	0.30	0.090		15					E. Resil.,	3.51
6	6.0	0.34	0.116		16					Max. Drop,	22 in.
7	7.0	0.36	0.130		17					s_t	0.010
8	8.0	0.38	0.144		18					H	7.68
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

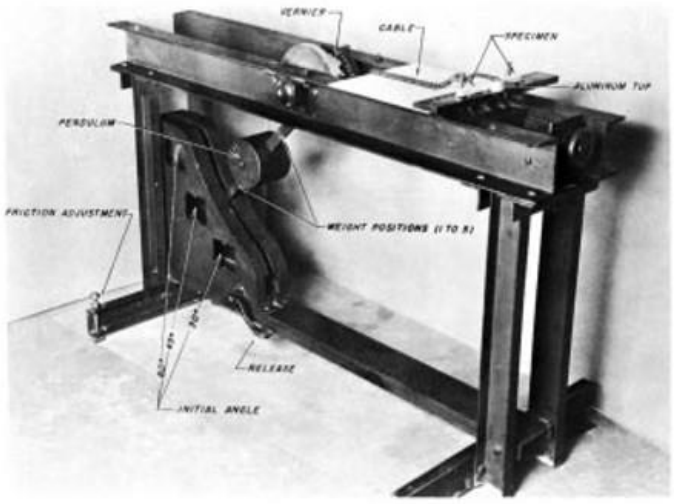


FIG. 15 Toughness Test Assembly

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 11).

NOTE 11—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).

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 Fig. 22, providing a ⅛ in. (3 mm) offset between the inner

TOUGHNESS

STATION Madison
SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO 1,651
PROJECT 51ST. IL SEASONING GREEN MEASURED BY
COST CHARGE 01-3-005 SPAN 9.47 IN WEIGHED BY
LABORATORY NOS. 268,7794-806A MACHINE NO. 4,715 TESTED BY
DATE FEB 1, 1950 TEMP 75 °F REL. HUMIDITY 64 %

STICK NO.	LAB. NO.	DIMENSIONS ("R" x "T" x "L")	WEIGHT GM.	MOIST. %	SP. GR.	POSITION OF RINGS * RAD.	POSITION OF RINGS * TANG.	HEIGHT	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	.357	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

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. 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 12). In all cases where the failure at the base of the specimen extends back onto the supporting surface, the test shall be culled.

NOTE 12—See Fig. 23 for a sample data and computation sheet for the tangential-shear-parallel-to-grain test.

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. 24. 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. 25 and 26. 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 13).

NOTE 13—See Fig. 27 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).

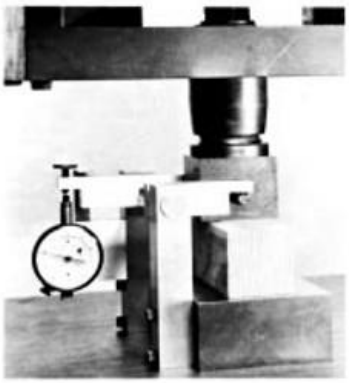


FIG. 17 Compression-Perpendicular-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application and Measurement of Deformation by Means of Averaging-Type Compressometer

16. Tension Parallel to Grain

16.1 One 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. 28. 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. 29). 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 Read deformations to 0.0001 in. (0.002 mm).

16.3.3 Fig. 29 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 14).

NOTE 14—See Fig. 30 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. 31. 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. 32 and 33. 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 15).

NOTE 15—See Fig. 34 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 16). 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 16—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 1¼ 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 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. 35 and 36. Observe the maximum load only (Note 16).

NOTE 17—See Fig. 37 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 17)

NOTE 18—Other methods of determining specific gravity using specimens of different shape, size, and moisture content are found in Test Methods D 2395.

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).

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 D 2395).

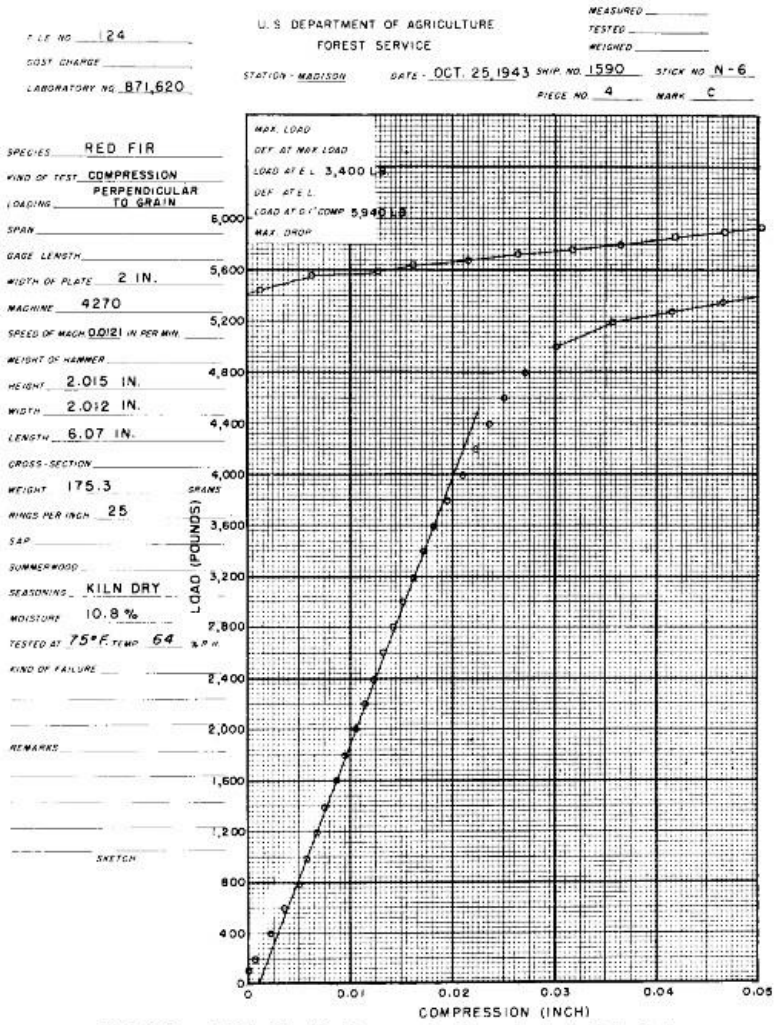


FIG. 18 Sample Data Sheet for Compression-Perpendicular-to-Grain Test

19.2.2 A carbon impression of the end of the green specimen may be made on the back of the data sheet (Note 18). In like manner, a carbon impression of the same end may be made after the specimen has been conditioned.

NOTE 19—See Fig. 38 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 method in accordance with the procedures of Test Methods D 2395.

19.2.4 Open-pile the green specimens after immersion and allow them to air-season under room conditionss 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 D 4442).

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.

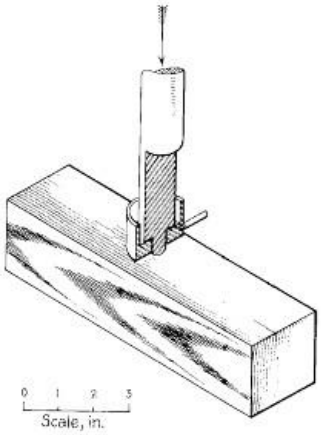


FIG. 19 Diagrammatic Sketch of Method of Conducting Hardness Test

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

19.2.8 Fig. 39 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 D 4442).

20.5 *Final Measurement*—Measurements of mass and length shall be made on the oven-dry specimens (see Note 18).

NOTE 20—See Fig. 40 for a sample data and computation sheet for the radial and tangential-shrinkage test.

20.6 *Method of Measurement*—Fig. 41 illustrates the method of 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).

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.

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 apparatus used in obtaining data shall be calibrated at sufficiently frequent intervals to ensure accuracy (Practices E 4).

24. Precision and Bias

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

D 143

HARDNESS

STATION – Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT 5Fr. 11 SEASONING GREEN MEASURED BY

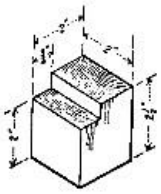
COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.244 WEIGHED BY

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

DATE JAN. 31, 1951 TEMP. 75 °F REL. HUMIDITY 64 %

STICK NO.	DIMENSIONS L" x R" x T"	WEIGHT GM.	MOIST. %	SP. GR	HARDNESS RADIAL SURFACE LB	HARDNESS TANGENTIAL SURFACE LB	HARDNESS END SURFACE LB	REMARKS	SKETCH
23-N-7-d	6.02 x 1.996 x 1.994	241.3	97.5	.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 x 1.992 x 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					

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

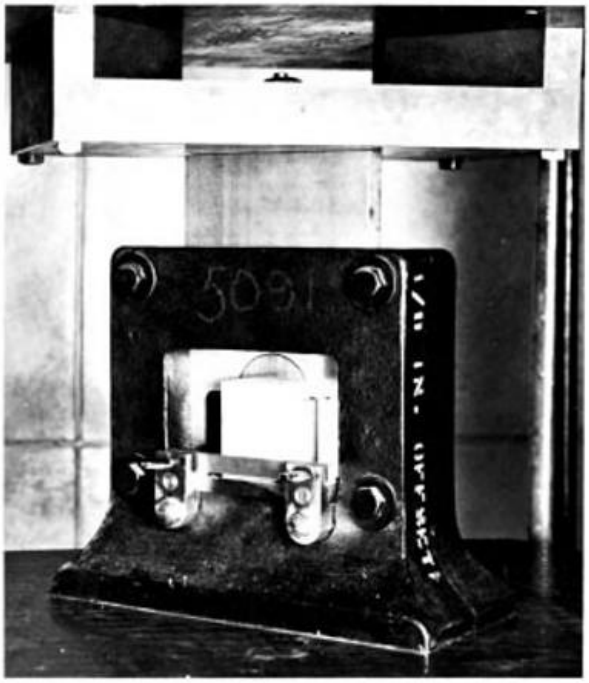


FIG. 22 Shear-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application Through Adjustable Seat to Provide Uniform Lateral Distribution of Load

D 143

SHEAR

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT Str. IL SEASONING GREEN MEASURED BY

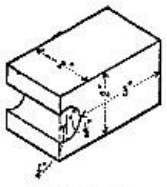
COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.0215 WEIGHED BY

LABORATORY NOS. 267.0P4A-029A MACHINE NO. 4,271 TESTED BY

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

STICK NO.	SHEARING SURFACE	SHEARING AREA L" x 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. 23 Sample Data and Computation Sheet for Shear-Parallel-to-Grain Test



Metric Equivalents

in.	¼	½	2	3
mm	6	13	50	76

FIG. 24 Cleavage Test Specimen

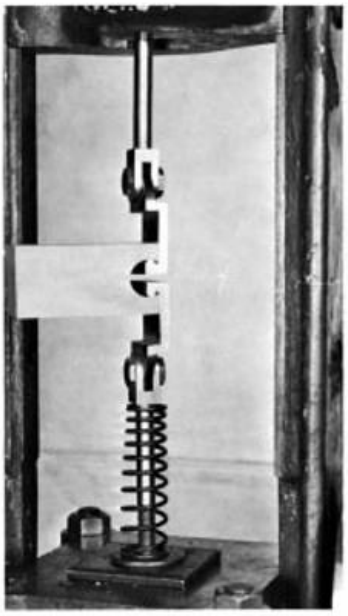
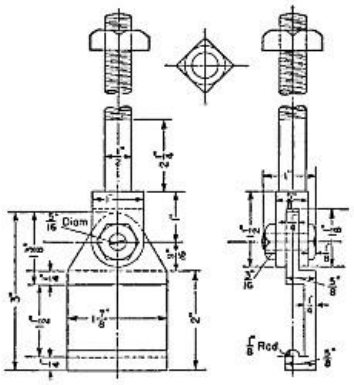


FIG. 25 Cleavage Test Assembly



NOTE 1—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
⅛	3	1⅜	35
3⁄16	4.8	1½	38
¼	6	1⅝	48
5⁄16	8	2	50
½	13	2¼	57
9⁄16	14	3	76
⅝	16	5½	140
1	25	8	200
1⅛	28		

FIG. 26 Design Details of Grips for Cleavage Test

D 143

CLEAVAGE

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT STR 16 SEASONING GREEN MEASURED BY

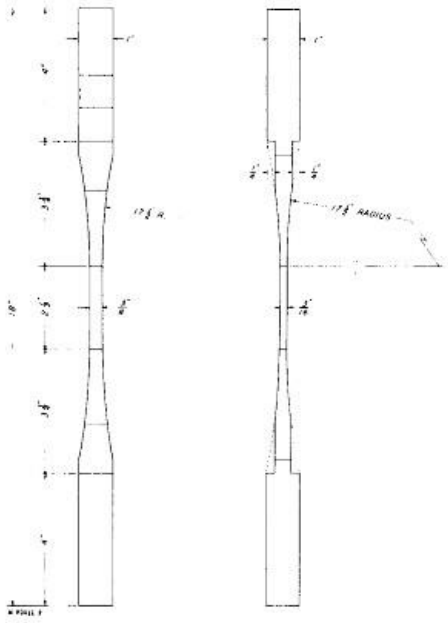
COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.1110 WEIGHED BY

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" x R"	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. 27 Sample Data and Computation Sheet for Cleavage Test



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. 28 Tension-Parallel-to-Grain Test Specimen



FIG. 29 Tension-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Grips and Use of 2 in. (50-mm) Gage Length Extensometer for Measuring Deformation

D 143

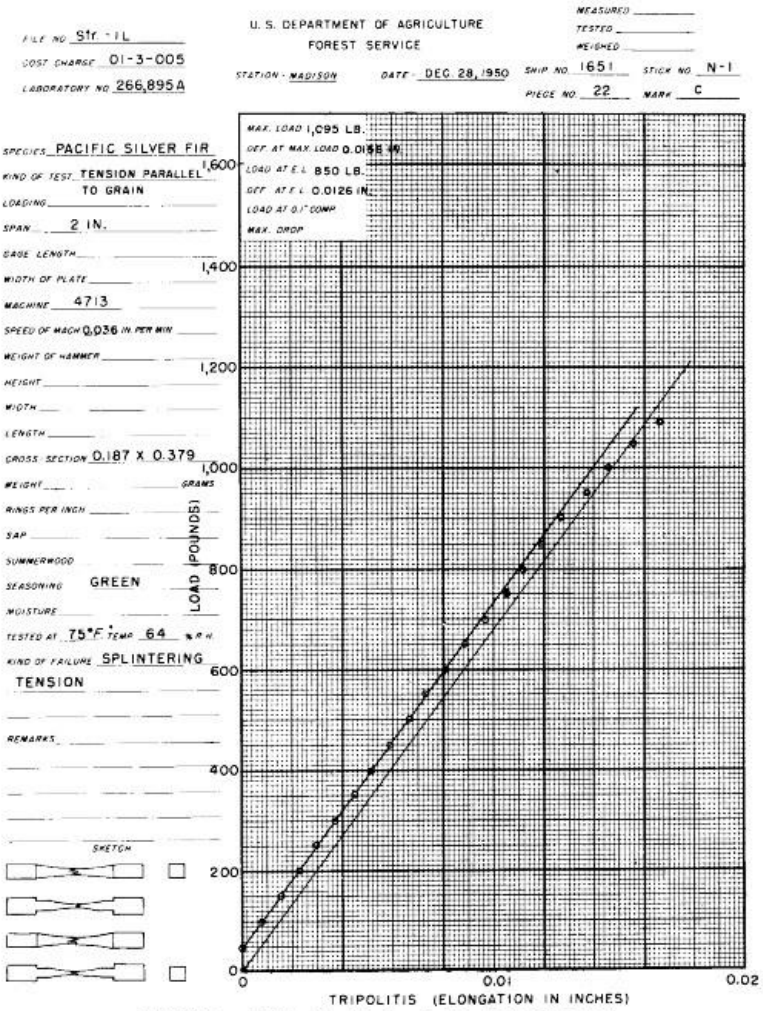
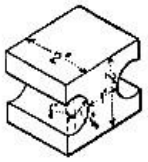


FIG. 30 Sample Data Sheet for Tension-Parallel-to-Grain Test



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

FIG. 31 Tension-Perpendicular-to-Grain Test Specimen

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 sílice, 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 específico 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		AC: 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 896:2013 (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:inenlaboratorios@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

Anexo ¨ D": Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-MD - Estructuras de madera


NEC
NORMA ECUATORIANA
DE LA CONSTRUCCIÓN
ESTRUCTURAS DE MADERA
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
CAMICON
CÓDIGO
NEC - SE - MD

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 capitulos 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 titulo 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 varian 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