



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

**“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).”**

AUTOR: Carlos Andrés Ponce Romero

TUTOR: Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Agosto - 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE 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)”**, elaborado por el Sr. Carlos Andrés Ponce Romero, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 180439389-8, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, agosto 2024



.....
Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Carlos Andrés Ponce Romero**, con C.I. 180439389-8, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“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)”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, agosto 2024



.....

Carlos Andrés Ponce Romero

C.I. 180439389-8

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 proceso 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, agosto 2024



Carlos Andrés Ponce Romero

C.I. 180439389-8

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Carlos Andrés Ponce Romero, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE CANELO PROVENIENTE DE LA CIUDAD DEL PUYO PROVINCIA DE PASTAZA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)”**.

Ambato, agosto 2024

Para constancia firman:



Ing. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación primero a Dios por sostenerme en cada paso durante este viaje académico y por darme sabiduría que me ha iluminado en los momentos más difíciles, segundo a mi madre Martha quien agradezco profundamente la paciencia infinita, las palabras de aliento durante mi vida estudiantil, por ser mi motivación cada día, por tu sacrificio y dedicación que me han iluminado en los momentos más oscuros.

A mi hermano Christian, quien con su apoyo incondicional pude salir adelante en los momentos más difíciles que se presentaron en mi vida universitaria.

A mis tías Yolanda y Mónica, y a mi tío Franklin, quienes con sus consejos y sus enseñanzas me ayudaron para guiarme en el transcurso de mi carrera universitaria.

Carlos Andrés Ponce Romero

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por brindarme salud, vida y sabiduría para poder finalizar el presente proyecto.

También, a mi madre, hermano, mi mascota Lola y a toda mi familia que, con su amor y apoyo incondicional, pude salir adelante en mi desarrollo personal como profesional.

De igual forma, quiero agradecer a la Universidad Técnica de Ambato quien me permitió la ejecución de los ensayos tanto físicos como mecánicos que se presentan en este trabajo experimental, también quiero hacer mención y un profundo agradecimiento los docentes de la Carrera de Ingeniería Civil, quienes con su vocación, paciencia y conocimientos que me han impartido, han sido fundamentales para mi formación académica.

Finalmente, agradezco a mi Tutora Ing. Mg. Myriam Marisol Bayas Altamirano, quien con su don de enseñanza y conocimiento me supieron guiar para la realización de este proyecto.

Carlos Andrés Ponce Romero

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xiv
RESUMEN EJECUTIVO.....	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO.....	1
A. Antecedentes Investigativos.....	1
B. Objetivos.....	6
1) Objetivo General:	6
2) Objetivos Específicos:	6
CAPITULO II. METODOLOGÍA	7
A. Materiales.....	7
B. Métodos.....	12
1) Fase preliminar:	12
2) Fase 1: Elaboración de probetas	13
a) Muestras para ensayo de contenido de humedad.....	14
b) Probetas ensayo a flexión perpendicular a la fibra	14
c) Probetas ensayo a tracción paralela a la fibra	17
3) Fase 2: Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera	20
a) Ensayo físico.....	21
b) Ensayos mecánicos	22
4) Fase 3: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera	31
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
A. Análisis y discusión de resultados	33

1) Propiedades físicas	33
a) Contenido de humedad verde	33
b) Contenido de humedad seco	37
2) Propiedades mecánicas	40
a) Flexión perpendicular a la fibra	40
b) Tracción paralela a la fibra	52
c) Análisis comparativo	63
B. Verificación de hipótesis	71
CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
A. Conclusiones	72
B. Recomendaciones	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS	78
Anexo “A”: Fotografías ensayos y obtención de madera	78
Anexo “B”: Norma ASTM D143-94	82
Anexo “C”: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 896:2013	105
Anexo “D”: Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-MD – Estructuras de madera	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. I. Plantación de canelo	8
Fig. II. Árbol de canelo	8
Fig. III. Elaboración de probetas	9
Fig. IV. Probetas a flexión y tracción	9
Fig. V. Dimensiones en (in) de la probeta para el ensayo de resistencia a tracción	10
Fig. VI. Muestras de madera verde	11
Fig. VII. Tronco de canelo.....	11
Fig. VIII. Ensayo a tracción	11
Fig. IX. Ensayo a flexión	12
Fig. X. Puntos de obtención de madera de canelo	13
Fig. XI. Muestras de madera verde de cada parroquia.....	14
Fig. XII. Dimensiones en (mm) de la probeta para ensayo a flexión.....	15
Fig. XIII. Dimensiones en (mm) de la probeta para ensayo a tracción.....	18
Fig. XIV. Tipos de fallas en flexión estática.....	25
Fig. XV. Tipos de fallas en tracción paralela.....	30
Fig. XVI. Mapa de altitud de la provincia de Pastaza.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. NÚMERO DE PROBETAS A FLEXIÓN PERPENDICULAR Y TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	9
TABLA II. ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO A FLEXIÓN DE LA MADERA SEGÚN LA NORMA ASTM D143-94	10
TABLA III. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LOS CENTROS DE COMERCIALIZACIÓN DE MADERA	13
TABLA IV. PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A FLEXIÓN ...	15
TABLA V. IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A FLEXIÓN.....	17
TABLA VI. PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCIÓN	18
TABLA VII. IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCIÓN	20
TABLA VIII. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	21
TABLA IX. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA	23
TABLA X. FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA MADERA.....	27
TABLA XI. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	27
TABLA XII. FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA MADERA	31
TABLA XIII. CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA PUYO	33
TABLA XIV. CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA EL TRIUNFO	34
TABLA XV. CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA VERACRUZ.....	34
TABLA XVI. CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA TARQUI	34
TABLA XVII. DENSIDAD BÁSICA DE MADERA DE CANELO.....	36
TABLA XVIII. CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA PUYO	37
TABLA XIX. CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA EL TRIUNFO	37
TABLA XX. CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA VERACRUZ.....	38

TABLA XXI. CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA TARQUI	38
TABLA XXII. CARGAS Y DEFLEXIONES DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA PUYO	40
TABLA XXIII. ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA PUYO	41
TABLA XXIV. CARGAS Y DEFLEXIONES DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA EL TRIUNFO	42
TABLA XXV. ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA EL TRIUNFO	43
TABLA XXVI. CARGAS Y DEFLEXIONES DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA VERACRUZ.....	44
TABLA XXVII. ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA VERACRUZ	45
TABLA XXVIII. CARGAS Y DEFLEXIONES DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA TARQUI	46
TABLA XXIX. ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA TARQUI	47
TABLA XXX. MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa).....	48
TABLA XXXI. ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa)	49
TABLA XXXII. MÓDULO DE ELASTICIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DE CANELO	50
TABLA XXXIII. TIPOS FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE CANELO POR EL ENSAYO A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA.....	51
TABLA XXXIV. RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA DEL PUYO.....	52
TABLA XXXV. RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA EL TRIUNFO.	54
TABLA XXXVI. RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA VERACRUZ.....	56

TABLA XXXVII. RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA DEL TARQUI.....	57
TABLA XXXVIII. MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa).....	59
TABLA XXXIX. ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa)	60
TABLA XL. MÓDULO DE ELASTICIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DE CANELO	60
TABLA XLI. TIPOS FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE CANELO POR EL ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.....	62
TABLA XLII. MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE CANELO SOMETIDA A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA.	63
TABLA XLIII. CONTENIDO DE HUMEDAD, MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE MADERA ESTRUCTURAL ECUATORIANA SOMETIDA A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA.....	65
TABLA XLIV. MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE CANELO SOMETIDA A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.....	67
TABLA XLV. MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE CANELO SOMETIDA A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.....	69

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica I. Contenido de humedad verde promedio de la madera de canelo.....	35
Gráfica II. Contenido de humedad seco promedio ensayadas a flexión perpendicular de la madera de canelo	39
Gráfica III. Contenido de humedad seco promedio ensayadas a tracción paralela de la madera de canelo	39
Gráfica IV. Carga vs deflexión de la probeta “FP-5” de madera de canelo de la parroquia del Puyo	41
Gráfica V. Carga vs deflexión de la probeta “FP-4” de madera de canelo de la parroquia del Puyo	42
Gráfica VI. Carga vs deflexión de la probeta “FE-5” de madera de canelo de la parroquia El triunfo	43
Gráfica VII. Carga vs deflexión de la probeta “FE-6” de madera de canelo de la parroquia El triunfo	44
Gráfica VIII. Carga vs deflexión de la probeta “FV-5” de madera de canelo de la parroquia Veracruz	45
Gráfica IX. Carga vs deflexión de la probeta “FV-2” de madera de canelo de la parroquia Veracruz	46
Gráfica X. Carga vs deflexión de la probeta “FT-1” de madera de canelo de la parroquia Tarqui	47
Gráfica XI. Carga vs deflexión de la probeta “FT-6” de madera de canelo de la parroquia Tarqui	48
Gráfica XII. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TP-1” de madera de canelo de la parroquia del Puyo	53
Gráfica XIII. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TP-2” de madera de canelo de la parroquia del Puyo	53
Gráfica XIV. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TE-2” de madera de canelo de la parroquia El triunfo	55
Gráfica XV. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TE-4” de madera de canelo de la parroquia El triunfo	55
Gráfica XVI. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TV-2” de madera de canelo de la parroquia Veracruz	57
Gráfica XVII. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TV-5” de madera de canelo de la parroquia Veracruz	57
Gráfica XVIII. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TT-4” de madera de canelo de la parroquia Tarqui	58

Gráfica XIX. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TT-1” de madera de canelo de la parroquia Tarqui	58
Gráfica XX. Módulos de elasticidad promedio de la madera de canelo proveniente de la provincia de Pastaza	64
Gráfica XXI. Esfuerzos admisibles promedio de la madera de canelo proveniente de la provincia de Pastaza	64
Gráfica XXII. Módulos de elasticidad sometidas a flexión perpendicular a la fibra de especies maderables.....	66
Gráfica XXIII. Esfuerzos admisibles sometidas a flexión perpendicular a la fibra de especies maderables.....	66
Gráfica XXIV. Módulos de elasticidad promedio de la madera de canelo proveniente de la provincia de Pastaza	68
Gráfica XXV. Esfuerzos admisibles promedio de la madera de canelo proveniente de la provincia de Pastaza	68
Gráfica XXVI. Módulos de elasticidad sometidas a tracción paralela a la fibra de especies maderables.....	70
Gráfica XXVII. Esfuerzos admisibles sometidas a tracción paralela a la fibra de especies maderables.....	70

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo experimental tiene como objetivo, proporcionar información sobre las propiedades mecánicas de la madera de canelo (flexión perpendicular y tracción paralela a la fibra) procedente de la parroquia urbana: Puyo, y las parroquias rurales: El triunfo, Veracruz y Tarqui provincia de Pastaza, y dar a conocer el esfuerzo máximo, módulo de elasticidad y la resistencia a tracción paralela y flexión perpendicular a la fibra que presenta este tipo de madera.

La investigación se basó en las normativas ASTM D143-94 para la elaboración de las probetas, las cuales se elaboraron 6 muestras por cada ensayo y se determinó las propiedades tanto físicas como mecánicas. En los ensayos físicos se determinó el contenido de humedad en estado verde o recién cortada y estado seco, que cumple con los parámetros dados por la norma NTE INEN 896 (2013), mientras que para los ensayos mecánicos se calculó el módulo de elasticidad y los esfuerzos admisibles a flexión axial y a tracción paralela de cada una de las probetas de las parroquias, rigiéndonos en las fórmulas que la norma ASTM D198 establece.

De acuerdo con los resultados de los análisis dados de las 48 muestras de madera de canelo, se estableció que este tipo de madera si se puede utilizar como material estructural, ya que en sus propiedades mecánicas calculadas dieron valores significativos, teniendo en consideración que la madera proveniente de la parroquia urbana Puyo tuvo mejor resistencia en tracción paralela y flexión perpendicular a la fibra.

Palabras clave: madera, canelo, flexión axial, tracción paralela, propiedades físicas, propiedades mecánicas, resistencia.

ABSTRACT

The objective of this experimental work is to provide information on the mechanical properties of canelo wood (perpendicular bending and traction parallel to the fiber) from the urban parish: Puyo, and the rural parishes: El Triunfo, Veracruz and Tarqui, province of Pastaza, and reveal the maximum stress, modulus of elasticity and resistance to parallel traction and perpendicular bending to the grain that this type of wood presents.

The research was based on the ASTM D143-94 regulations for the preparation of the test pieces, in which 6 samples were made for each test and both physical and mechanical properties were determined. In the physical tests, the moisture content was determined in the green or freshly cut state and dry state, which complies with the parameters given by the NTE INEN 896 (2013) standard, while for the mechanical tests the elastic modulus and the admissible stresses in axial bending and parallel traction of each of the parish specimens, governed by the formulas established by the ASTM D198 standard.

According to the results of the analyzes given of the 48 samples of canelo wood, it was established that this type of wood can be used as a structural material, since its calculated mechanical properties gave significant values, taking into consideration that the wood Coming from the Puyo urban parish, it had better resistance in parallel traction and perpendicular bending to the fiber.

Keywords: wood, canelo, axial bending, parallel traction, physical properties, mechanical properties, resistance.

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

A. Antecedentes Investigativos

De acuerdo con Langarica [1] explica sobre la “Construcción de madera en altura”, el estudio determinó que los materiales más usados para la construcción de edificaciones en los últimos años son el acero y el hormigón armado, estos son los causantes de la generación del 3% al 5% de emisiones de carbono del planeta. La emisión de gases, la contaminación ambiental y el calentamiento global, no son temas exentos a la construcción. La innovación en el mundo de la construcción da lugar a la madera que es sumamente un material versátil, fácil de trabajar y de muy bajo costo, con muy buenas propiedades estructurales para la construcción. Esta investigación concluyó finalmente con el tema de la resistencia de la madera, el cual los estudios demostraron que la madera laminada presenta una alta resistencia estructural dependiendo totalmente del sentido en que se use, debido a que la madera se caracteriza por su estructura de fibras naturales llamadas “vetas”, las cuales influyen en su resistencia dependiendo de su uso en sentido vertical u horizontal.

Por otro lado, en 2018, Espinosa *et al.* [2] determinaron que la madera canelo tiene una resistencia media al agua, lo que significa que, para su integridad a largo tiempo, se debe aplicar selladores o tratamientos protectores. También cuenta con una mayor resistencia a las plagas o a la perforación, lo que es de valiosa importancia, ya que es muy poco probable de ser dañada por ataques de insectos u otros organismos, el cual se convierte en una buena opción para su uso estructural en construcciones. Concluyendo con algunas características del árbol de canelo, el cual presenta una altura media del árbol de 16 m con un crecimiento medio, un diámetro máximo del tronco de 0,45 m, presenta una edad de corte final aproximadamente de 40 años y un costo medio en el sector comercial.

Desde otra perspectiva, [3] explica sobre el canelo es un árbol sagrado para el pueblo mapuche debido a sus propiedades medicinales que este posee, la corteza en un proceso de infusión sirve como un potente antiescorbútico (déficit de vitamina C), mientras que las hojas de canelo en infusión sirven para combatir la tos, catarro, parasitosis, desordenes estomacales, disentería y dolores reumáticos. Este tratamiento de forma externa sirve curar diversas afecciones de la piel,

tales como: heridas, úlceras, verrugas, sarnas, alergias y también sirve para tratar dolores musculares y reumáticos.

Por otra parte, en [4] menciona sobre la “Suficiencia de muestreo para propiedades mecánicas de madera”, lo que quiere decir que en esta investigación se determinó el número mínimo de muestras necesarias para la realización de ensayos de resistencia a flexión, compresión, dureza y al corte, de madera de Eucalipto plantado en el sur de Brasil. La suficiencia de muestreo se determinó por medio de un análisis computacional intensivo acorde al remuestreo de datos originales de simulaciones de Monte Carlo. Este método de remuestreo podría ser una opción para la determinación de la suficiencia del muestreo y así evitar cantidades grandes de muestras innecesarias al momento de ser ensayadas. La investigación concluyó que la resistencia de la madera de Eucalipto, tanto en la resistencia a flexión como en la resistencia a compresión, la suficiencia de muestras alcanzó para 7 muestras, el cual este número de muestras es mayor a comparación de otros estudios realizados recientemente.

Ahora bien, en [5] menciona sobre la “Determinación de los esfuerzos de diseño de vigas laminadas de Pino Caribe (*Pinus caribaea* var. *Hondurensis*)”, el cual trató sobre la determinación de los esfuerzos de diseño de 18 vigas de madera laminada de pino caribe encoladas con adhesivo de isocianato (MDI), estos resultados obtenidos de la investigación, procedieron a compararse con resultados obtenidos de valores de vigas laminadas de pino radiata de Chile y pino resinoso de Argentina, el cual logró determinar que los valores de esfuerzo en el límite proporcional, módulo de ruptura y módulo de elasticidad para todas las vigas ensayadas, estaban por debajo. Esto concluye que la madera Pino Caribe no forma parte del grupo C de madera estructural (Densidad $0,39 > D < 0,32 \text{ g/cm}^3$), debido a que se ubican muy por debajo de los valores de MOE ($7,832 \text{ N/mm}^2$).

En otro ámbito, en [6] se explica que la madera de Acacia (*Acacia melanoxylon*), una madera de densidad media, alta resistencia a la compresión, resistencia media a la flexión y contemplada internacionalmente como una de las especies más decorativas del mundo. Esta especie cuenta con propiedades mecánicas favorables para el uso en la industria de la construcción, las cuales son: Valor medio de la densidad fue $= 564 \text{ kg.m}^{-3}$, y la tensión de rotura mostró los siguientes valores: flexión $= 89,9 \text{ N.mm}^{-2}$, compresión paralela a las fibras $= 49,5 \text{ N.mm}^{-2}$, compresión perpendicular $= 11,7 \text{ N.mm}^{-2}$ y corte paralelo $= 11,6 \text{ N.mm}^{-2}$.

Así mismo, en [7] explican sobre las “Propiedades físico-mecánicas de una Guadua Mexicana (*Guadua aculeata*)”, menciona sobre la densidad básica que este material presentó, el cual varía de 560 a 660 kg/cm³ y la semejanza en base a las propiedades físicas, mecánicas y geométricas que tiene con la (*Guadua angustifolia*) nativa de Colombia, Venezuela y Ecuador, utilizada en el sector de la construcción en países como: Costa Rica, Panamá, Venezuela, Colombia y Ecuador. Las propiedades mecánicas que este material presentó fueron de un esfuerzo máximo cortante que varió de 6 a 10,5 MPa, el esfuerzo máximo en compresión paralela a la fibra incrementó de 28,2 a 56,7 MPa y su módulo de elasticidad de 13,7 a 20,7 GPa. En el caso del módulo de ruptura en flexión incrementó de 51,9 a 79,6 MPa, su módulo de elasticidad de 15,1 a 24,1 GPa. Para la resistencia en tensión paralela a la fibra se incrementó de 58,5 a 92,2 MPa y el módulo de elasticidad en ese esfuerzo de 8,2 a 9,8 GPa.

De igual manera, en [8], menciona sobre las propiedades mecánicas de la madera de Guayacán para el uso en las construcciones de Ecuador, determinando la resistencia a la compresión perpendicular y paralela a la fibra, flexión perpendicular y tracción paralela a la fibra. Teniendo como resultado en base a las 5 muestras ensayadas a tracción paralela a la fibra de la madera, se obtuvo un esfuerzo máximo de 79,03 MPa con un módulo de elasticidad de 15371,46 MPa, mientras que las 5 muestras ensayadas a flexión estática, presenta un esfuerzo máximo de 57,98 MPa y un módulo de elasticidad de 335,15 MPa.

Algo semejante ocurre con Moncayo *et al.* [9] que mencionan sobre las propiedades mecánicas de la madera de balsa Ecuatoriana cuya densidad varía entre 80 a 220 kg/m³, donde se determinó que para las muestras del ensayo a flexión perpendicular se aplicó una carga continua en toda la prueba a una velocidad de 1,3 mm/min hasta que se produzca la falla, obteniendo como resultado para una densidad alta se calculó un módulo de elasticidad de 2507,25 MPa y un módulo de ruptura de 21,63 MPa. En esta investigación se concluyó que el MOE, MOR y la resistencia a la compresión paralela y perpendicular a la fibra varían de manera lineal proporcional con respecto a la densidad de la madera de balsa.

Algo similar pasa en [10] que trata sobre la “Caracterización estructural de madera aserrada de Pinos cultivados en Uruguay”, que determinó las propiedades mecánicas de aproximadamente 900 muestras de madera de 25 años del litoral y 15 años del suroeste comercializada en Uruguay. Estas muestras se clasificaron en tres grados cualitativos las cuales fueron ensayadas a flexión,

compresión y tracción paralela a la fibra, y los resultados fueron comparados para las clases resistentes de EN 338 y los grados estructurales de NCh 1198. Se concluyó que para las muestra de madera de 15 años del suroeste no cumplen con los requisitos mínimos para su uso estructural.

Así mismo, Clavón & Rosero [11] explican sobre el “Análisis de las propiedades físico-mecánicas de las maderas nativas del Ecuador”, mencionan que el esfuerzo promedio máximo de probetas de madera de canelo amarillo ensayadas a tracción paralela a la fibra es de 84,96 MPa y un módulo de elasticidad promedio de 208680,51 Kg/cm², mientras que para las muestras ensayadas a flexión perpendicular, el esfuerzo promedio máximo fue de 76,78 MPa y el módulo de elasticidad promedio de 84654,61 Kg/cm².

En otro ámbito, Valladares [12] propone que la madera como material estructural presenta ventajas en cuanto a su resistencia al fuego y a su bajo peso, lo que genera que este último factor disminuya la sollicitación sísmica, mientras que el reto que presenta el desarrollo de estructuras de madera es integrar la cantidad ideal de dicho material en los proyectos. Se concluyó que debido a los resultados de los ensayos demostraron que la caracterización resulte favorable para el excelente diseño estructural se utilizó la combinación de elementos de madera laminada y aserrada.

Por otra parte, en 2014, Pérez [13] expone la comparación de ensayos a compresión de madera estructural mediante la norma UNE y la norma ASTM, donde establece que el empleo de la norma ASTM presenta diferencias relevantes en base a sus resultados, tales como la resistencia, compresión, módulo de elasticidad y una variante importante en la resistencia máxima en semejanza con la norma UNE, es decir, los resultados manifiestan una gran disparidad entre normas dando a entender que la norma ASTM brinda resultados más exactos con relación a la norma UNE.

Por otro lado, en [14] menciona sobre el “Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (*Eucalyptus*)”, que se concluyó que para los ensayos a flexión perpendicular y tracción paralela a la fibra, se obtuvo un esfuerzo máximo a flexión promedio de 63.79 MPa y un módulo de elasticidad promedio de 9450 MPa del cantón Ambato, mientras que para el esfuerzo máximo a tracción promedio fue de 98.05 MPa, clasificándose como una madera estructural de tipo “B” según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015.

De igual manera, en [15] indica sobre el “Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Capulí de diferentes cantones de la provincia de Tungurahua”, se basó en un análisis

comparativo de los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles, tanto para el ensayo a flexión perpendicular como para el ensayo a tracción paralela a la fibra, se concluyó que el cantón Ambato posee el módulo de elasticidad a flexión (2066.25 MPa) y a tracción (9318.44 MPa) más altos, y el cantón Mocha posee los esfuerzos admisibles más altos, tanto para el ensayo a flexión (30.85 MPa) como para el ensayo a tracción (30.35 MPa).

Por último, el lugar que se exploró en este trabajo experimental fueron las parroquias: Puyo, El triunfo, Veracruz y Tarqui, proveniente de la ciudad del Puyo provincia de Pastaza, debido a que las 48 probetas de madera de canelo se extrajeron de cada una de las parroquias de la ciudad del Puyo, dividiendo a 12 probetas por parroquia, el cual se utilizó 6 probetas para el ensayo a flexión perpendicular a la fibra y 6 probetas para el ensayo a tracción paralela a la fibra.

La problemática que se presentó en este trabajo experimental, es al momento de la extracción de muestras para obtener el contenido de humedad verde de la madera de canelo, debido a que los lugares donde se puede extraer un tronco de canelo son inaccesibles para personas no autorizadas ya que estos árboles se encuentran en fincas privadas por el sector de Chapinza (lugar a 3 horas del centro del Puyo – 1 hora en carro y 2 horas caminando).

B. Objetivos

1) Objetivo General:

- Determinar las propiedades mecánicas estructurales de la madera canelo, proveniente de la ciudad del Puyo.

2) Objetivos Específicos:

- Elaborar probetas de madera de canelo en base a la norma ASTM D143-94.
- Determinar la propiedad física: contenido de humedad, y las propiedades mecánicas como: tracción paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra, de acuerdo con las normas: NTE INEN 896:2013 y ASTM D143-94.
- Realizar un análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera canelo, obtenida de la parroquia urbana Puyo y de las parroquias rurales: El triunfo, Veracruz y Tarqui.

CAPITULO II. METODOLOGÍA

En el presente trabajo experimental se desarrolló 4 fases, el cual se basa en el cumplimiento de los objetivos específicos propuestos anteriormente.

Antes de iniciar con el desarrollo de la fase 1, se pasó por una fase preliminar el cual fue buscar centros de comercialización de madera canelo en la parroquia urbana Puyo y en las parroquias rurales: El triunfo, Veracruz y Tarqui.

Posteriormente se inició con la compra de las piezas de madera en cada uno de los aserraderos o depósitos seleccionados anteriormente. Ya con la fase preliminar cumplida, se desarrolló el cumplimiento de la fase 1 de este trabajo experimental, el cual se elaboró probetas de madera de canelo 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 a la fibra y flexión perpendicular a la fibra de la madera de canelo, 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 canelo, obtenidas de la parroquia urbana Puyo y de las parroquias rurales: El triunfo, Veracruz y Tarqui.

A. Materiales

En la fase inicial de este trabajo experimental se llevó a cabo la elaboración de probetas de madera de canelo regidas en las especificaciones de la norma ASTM D143-94, el cual para la elaboración de estas se utilizó, 1 tabloncillo por parroquia de madera de canelo de 125 cm x 20 cm x 2.50 cm y tabla trípex de 3.2 mm para dar forma a las probetas a tracción paralela a la fibra.



Fig. I. Plantación de canelo



Fig. II. Árbol de canelo

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 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	Parroquia	# Probetas	Ensayo	Normativa
1.	Puyo	6	Flexión	ASTM D143-94
2.	Puyo	6	Tracción	
3.	El triunfo	6	Flexión	
4.	El triunfo	6	Tracción	
5.	Veracruz	6	Flexión	
6.	Veracruz	6	Tracción	
7.	Tarqui	6	Flexión	
8.	Tarqui	6	Tracción	
Total		48		
probetas:				



Fig. III. Elaboración de probetas



Fig. IV. Probetas a flexión y tracción

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 [16]

Las especificaciones de la norma internacional ASTM D143-94, 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:

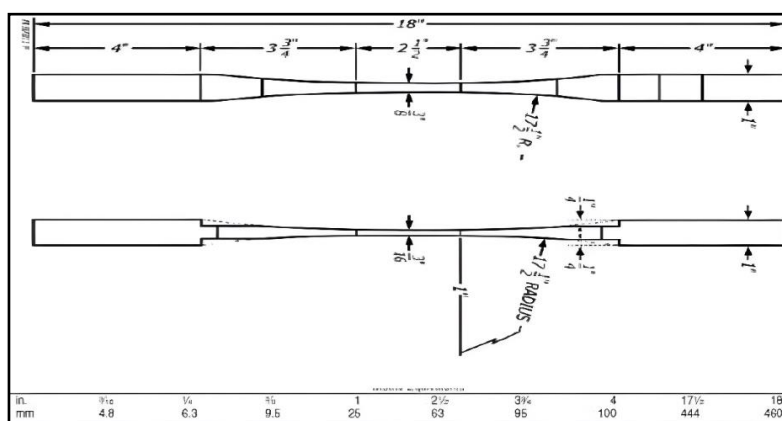


Fig. V. Dimensiones en (in) de la probeta para el ensayo de resistencia a tracción

Nota: fuente [16]

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 canelo por cada parroquia, un horno eléctrico (PRECISION Mechanical convection oven) y una balanza electrónica (SHIMADZU).



Fig. VI. Muestras de madera verde



Fig. VII. Tronco de canelo

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. VIII. Ensayo a tracción

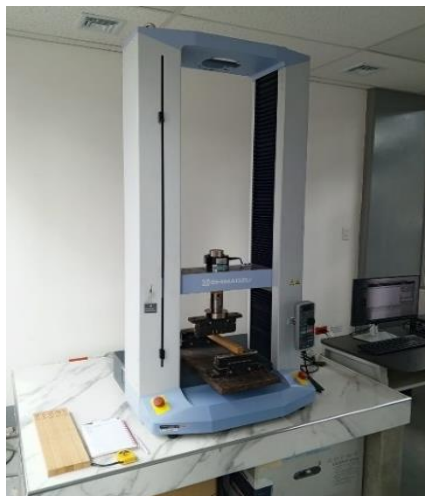


Fig. IX. Ensayo a flexión

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

B. 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 preliminar:

Para el cumplimiento de la fase preliminar 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 parroquias de la ciudad del Puyo 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 parroquia a los cuales se asistió para la obtención de las piezas de madera de canelo con sus coordenadas geográficas respectivas:

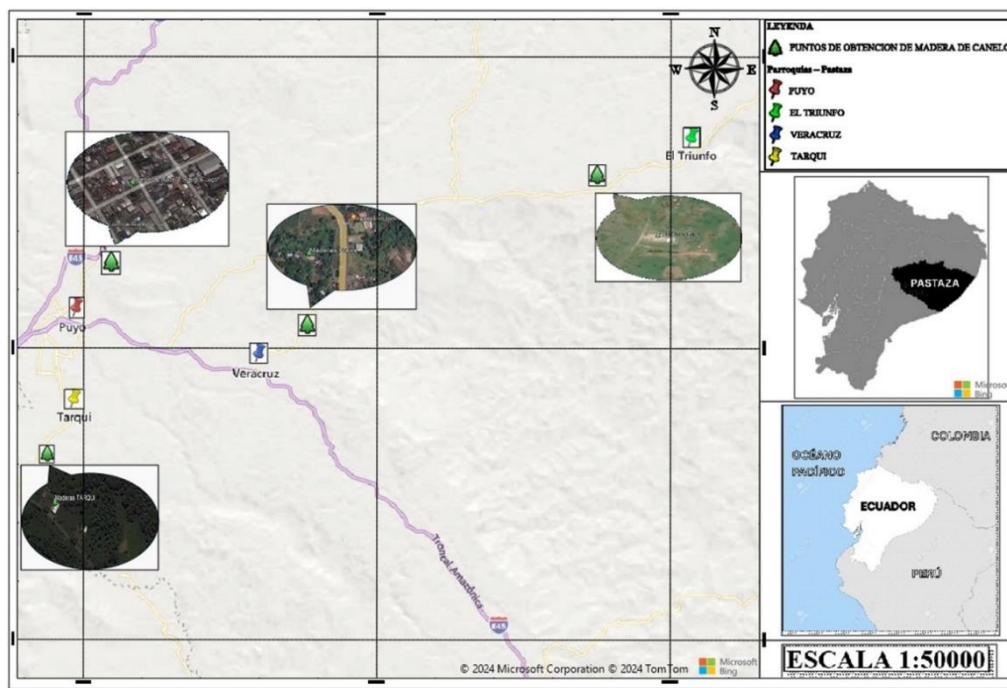


Fig. X. Puntos de obtención de madera de canelo

TABLA III.
COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LOS CENTROS DE COMERCIALIZACIÓN DE MADERA

Parroquia	Nombre depósito	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)
Puyo	Muebles & madera "Freire & Lugo"	9835713.00	833056.00	933
El Triunfo	Maderas El triunfo	9847109.00	194721.00	1035
Veracruz	Maderas Freire	9832320.00	173944.00	973
Tarqui	Maderas TARQUI	9830082.00	833521.00	932

2) Fase 1: Elaboración de probetas

Para la ejecución de la Fase 1 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 canelo y la ejecución apropiada de los ensayos correspondientes.

A continuación, se elaboraron probetas de madera de canelo con el propósito de comprobar las propiedades físicas: contenido de humedad, y las propiedades mecánicas: tracción paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra de la madera de canelo. Para la fabricación de estas nos regiremos 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 canelo verde o recién cortada no menor a 20 gr. por cada parroquia.



Fig. XI. Muestras de madera verde de cada parroquia

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).

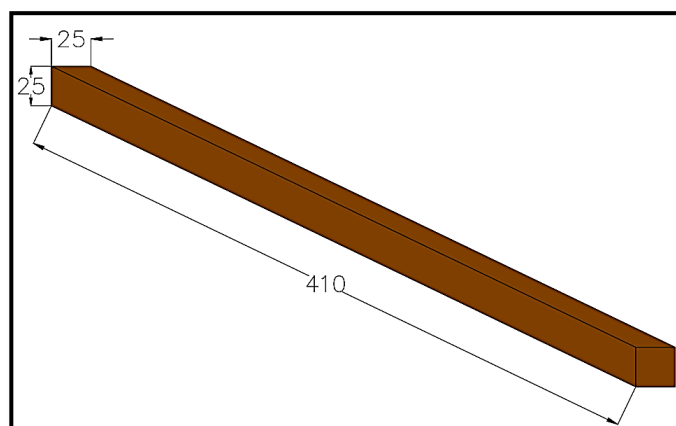


Fig. XII. Dimensiones en (mm) de la probeta para ensayo a flexión perpendicular

○ Proceso de fabricación de las probetas:

Ya compradas las piezas de madera de canelo (125 cm x 20 cm x 2,50 cm) secadas naturalmente por al menos 1 año de cada parroquia, 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 el tabloncillo de madera de canelo es de 2,50 cm de grosor y 20 cm de ancho, se procedió a cortar en ocho tiras de 125 cm x 2,50 cm x 2,50 cm.



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 parroquia destinadas, así como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA V.
IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A FLEXIÓN

N.º	Parroquia	Ensayo	Identificación
1.	Puyo	Flexión perpendicular	FP-1
			FP-2
			FP-3
			FP-4
			FP-5
			FP-6
2.	El triunfo	Flexión perpendicular	FE-1
			FE-2
			FE-3
			FE-4
			FE-5
			FE-6
3.	Veracruz	Flexión perpendicular	FV-1
			FV-2
			FV-3
			FV-4
			FV-5
			FV-6
4.	Tarqui	Flexión perpendicular	FT-1
			FT-2
			FT-3
			FT-4
			FT-5
			FT-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.

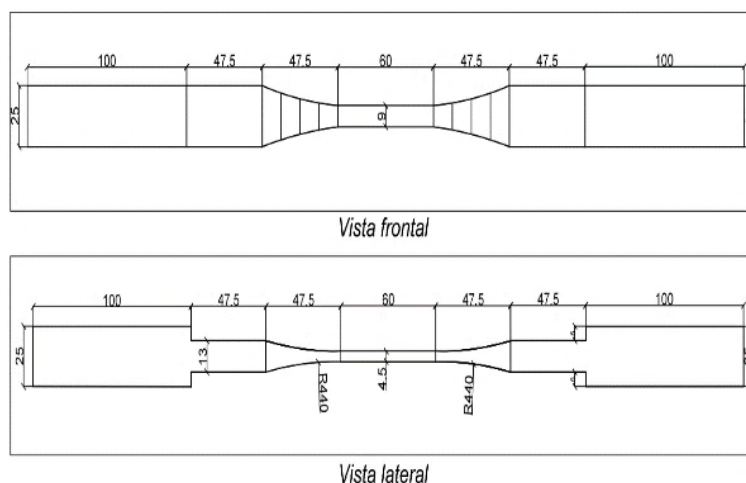


Fig. XIII. Dimensiones en (mm) de la probeta para ensayo a tracción paralela

Nota: fuente [11]

○ Proceso de fabricación de las probetas:

Ya compradas las piezas de madera de canelo secadas naturalmente de cada parroquia, y realizadas el proceso de fabricación de las probetas para el ensayo a flexión (canteado, cepillado y corte) descrito anteriormente, 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.	

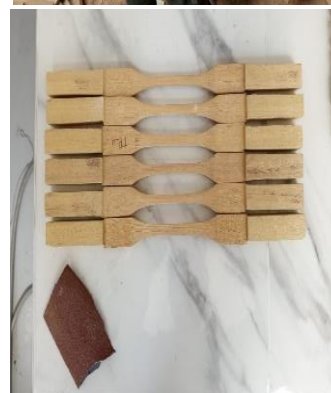
2. Perfilado
- Ya con estos moldes de tabla triplex, se conectó con las muestras de madera y se procedió a darles la forma respectiva, generando las curvas respectivas de la probeta con la maquina “Tupi”.



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 N° 80 para la parte de las puntas y con una lija N° 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 parroquia destinadas, así como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA VII.
IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCIÓN

N.º	Parroquia	Ensayo	Identificación
1.	Puyo	Tracción paralela	TP-1
			TP-2
			TP-3
			TP-4
			TP-5
			TP-6
2.	El triunfo	Tracción paralela	TE-1
			TE-2
			TE-3
			TE-4
			TE-5
			TE-6
3.	Veracruz	Tracción paralela	TV-1
			TV-2
			TV-3
			TV-4
			TV-5
			TV-6
4.	Tarqui	Tracción paralela	TT-1
			TT-2
			TT-3
			TT-4
			TT-5
			TT-6

3) 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 dos ensayos mecánicos (tracción 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 canelo 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 canelo, seguimos las especificaciones de la norma NTE INEN 896-2013, el cual se utilizó el siguiente procedimiento:

TABLA VIII.

PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.º	Procedimiento	Fotografía
1.	En primer lugar, se encenderá y se encenderá la balanza electrónica.	
2.	Después se procederá a pesar cada una de las muestras no menor a 20 g (3 muestras por parroquia) 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 $103 \pm 3^{\circ}\text{C}$, 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]

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso anhidro}}{\text{Peso anhidro}} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

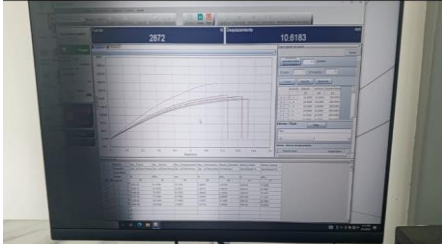
b) Ensayos mecánicos

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 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 canelo es:

TABLA IX.

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, encerrar la fuerza y el desplazamiento, seguidamente aplicar una precarga, y volver a encerrar 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

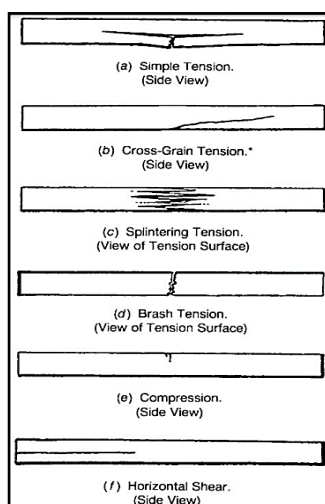


Fig. XIV. Tipos de fallas en flexión estática.

Nota: fuente [16]

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

Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional (MPa)

$$S' = \frac{3 \times P' \times l}{2 \times b \times d^2} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

P': Carga aplicada en el límite proporcional (N)

l: Distancia libre entre apoyos (mm)

b: Ancho del espécimen de flexión (mm)

d: Profundidad del espécimen de flexión (mm)

Módulo de ruptura (MPa)

$$SR = \frac{3 \times P_{m\grave{a}x} \times l}{2 \times b \times d^2} \quad Ec. 3$$

Donde:

P_{m\grave{a}x}: Carga máxima soportada por el espécimen (N)

l: Distancia libre entre apoyos (mm)

b: Ancho del espécimen de flexión (mm)

d: Profundidad del espécimen de flexión (mm)

Módulo de elasticidad aparente (MPa)

$$E_{app} = \frac{P' \times l^3}{4 \times b \times d^3 \times \Delta} \quad Ec. 4$$

Donde:

P': Carga aplicada en el límite proporcional (N)

l: Distancia libre entre apoyos (mm)

b: Ancho del espécimen de flexión (mm)

d: Profundidad del espécimen de flexión (mm)

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

Esfuerzo admisible (MPa)

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

Donde:

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

$F.C$: Factor de reducción por calidad

$F.T$: Factor de reducción por tamaño

$F.S$: Factor de servicio y seguridad

$F.D$: Factor de duración de carga

TABLA X.
FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA MADERA

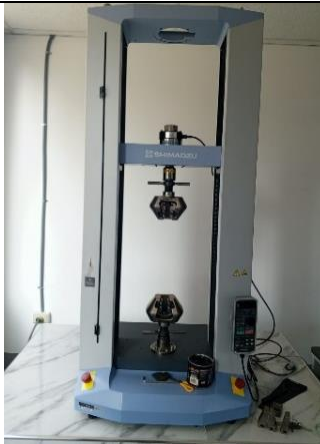
Factores de reducción	
Factor de reducción por calidad	0.80
Factor de reducción por tamaño	0.90
Factor de servicio y seguridad	2.00
Factor de duración de carga	1.15

Nota: fuente [20]

○ 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 canelo es:

TABLA XI.
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).



- 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).
- 4.



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



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



- 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.
- 7.



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

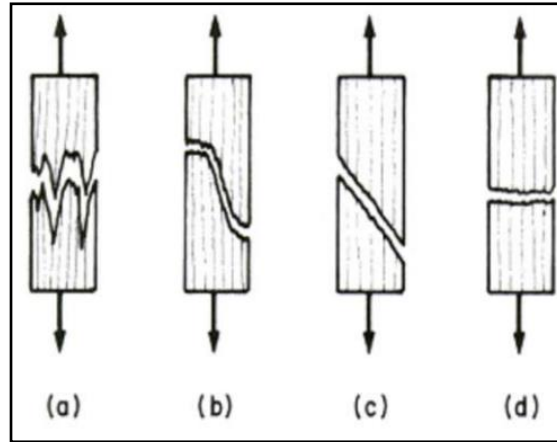


Fig. XV. Tipos de fallas en tracción paralela.

Nota: fuente [16]

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

Resistencia a la tracción (MPa)

$$\sigma_t = \frac{P_{m\grave{a}x}}{A} \quad Ec. 6$$

Donde:

$P_{m\grave{a}x}$ = Carga máxima soportada por el espécimen (N)

A = Área de la sección transversal (mm)

Tensión en el límite proporcional (MPa)

$$\sigma'_t = \frac{P'}{A} \quad Ec. 7$$

Donde:

P' = Carga aplicada en el límite proporcional (N)

A = Área de la sección transversal (mm)

Módulo de elasticidad (MPa)

$$E_{axial} = \frac{\sigma'_t}{\varepsilon} \quad Ec. 8$$

Donde:

σ'_t = Carga aplicada en el límite proporcional (N)

ε = Deformación en el límite proporcional $\left(\frac{mm}{mm}\right)$

Esfuerzo admisible (MPa)

$$E_{adm} = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} \times E_{ult} \quad Ec. 9$$

Donde:

E_{ult} : Esfuerzo ultimo (Mpa) $\approx$ Tensión en el límite proporcional (σ'_t)

$F.C$: Factor de reducción por calidad

$F.T$: Factor de reducción por tamaño

$F.S$: Factor de servicio y seguridad

$F.D.C$: Factor de duración de carga

TABLA XII.
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 [20]

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

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 canelo de las diferentes parroquias, tanto la parroquia urbana como las parroquias rurales.

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 canelo proveniente de las diferentes parroquias, 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 canelo de cada parroquia sometidas a flexión perpendicular como tracción paralela a la fibra.

CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Análisis y discusión de resultados

El análisis de resultados que se lleva a cabo en este capítulo se basa en la obtención de muestras de madera de canelo de las diferentes parroquias de la provincia de Pastaza, la cual dicha madera paso por un proceso de secado natural de 1 año. Con estas muestras se realizó probetas, la cual se obtuvo el contenido de humedad verde y seco, y las propiedades mecánicas con la ayuda de ensayos mecánicos: flexión perpendicular y tracción paralela a la fibra, realizados en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Técnica de Ambato.

1) Propiedades físicas

a) Contenido de humedad verde

Para la obtención del contenido de humedad verde de la madera de canelo, se adquirió 3 muestras por parroquia de un árbol de canelo recién talado. Teniendo 12 muestras en total y utilizando la ecuación 1, así se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA XIII.
CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA PUYO

# Muestra	Parroquia	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Puyo	125.30	66.40	88.70
2.		123.90	64.60	91.80
3.		117.30	62.30	88.28
Promedio		122.27	64.43	89.59

TABLA XIV.

CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA EL TRIUNFO

# Muestra	Parroquia	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	El triunfo	110.90	57.80	91.87
2.		122.90	64.60	90.25
3.		123.10	65.30	88.51
Promedio		118.97	62.57	90.21

TABLA XV.

CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA VERACRUZ

# Muestra	Parroquia	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Veracruz	112.80	59.60	89.26
2.		111.00	58.80	88.78
3.		123.50	65.90	87.41
Promedio		115.77	61.43	88.48

TABLA XVI.

CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA TARQUI

# Muestra	Parroquia	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
1.	Tarqui	117.60	62.40	88.46
2.		111.50	58.90	89.30
3.		106.70	58.20	83.33
Promedio		111.93	59.93	87.03

Con relación a los resultados obtenidos del contenido de humedad verde de la madera de canelo, se concluye que la madera que proviene de la parroquia “El triunfo” presentó el contenido de humedad más alto (90.21%), mientras que la madera que proviene de la parroquia “Tarqui” presentó el contenido de humedad verde más bajo (87.03%). Cabe recalcar que el contenido de humedad varía de acuerdo con su altitud de donde este plantado el árbol, teniendo una menor altitud de 799 - 1144 m.s.n.m. para la parroquia “El triunfo”, y una mayor altitud de 1144 - 1634 m.s.n.m. para la parroquia “Tarqui”.

En base a los resultados del contenido de humedad de la madera de canelo, es importante mencionar que a menor altitud de plantación del árbol de canelo se encuentre, tendrá un mayor contenido de humedad.

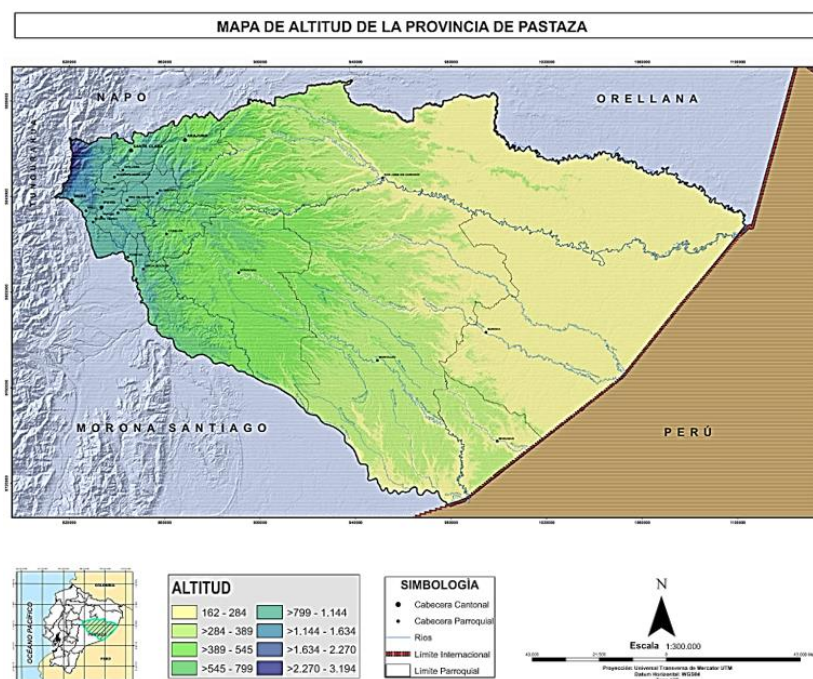
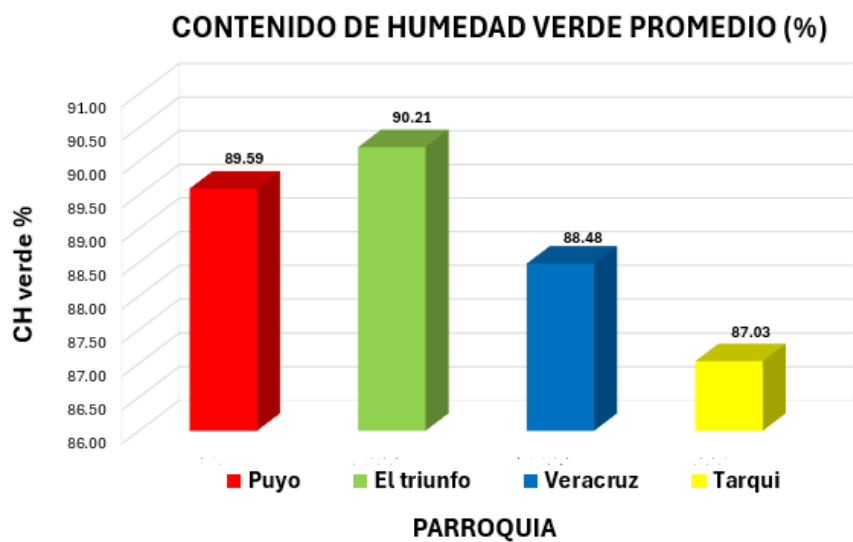


Fig. XVI. Mapa de altitud de la provincia de Pastaza

Nota: fuente [21]



Gráfica I. Contenido de humedad verde promedio de la madera de canelo

Como conclusión, se puede determinar que todos los valores de contenido de humedad verde obtenidos cumplen con el porcentaje superior al 35% de humedad para madera recién talada o madera en estado verde.

○ Densidad básica:

Con el fin de calcular la densidad básica de la madera de canelo de las 4 parroquias de la provincia de Pastaza, el cual se obtuvo mediante la relación entre el peso seco al horno y el volumen verde.

TABLA XVII.
DENSIDAD BÁSICA DE MADERA DE CANELO

Parroquia	Densidad básica $\left(\frac{gr}{cm^3}\right)$
Puyo	0.43
El Triunfo	0.43
Veracruz	0.45
Tarqui	0.46
Promedio	0.44

Con relación al estudio de “Especies forestales más aprovechadas en la región sur del Ecuador” [22], nos dice que la densidad básica del canelo es de 0.44 gr/cm^3 , mientras que para el trabajo experimental [23], la densidad básica de la madera de canelo varía entre los 0.40 y 0.45 gr/cm^3 .

En relación con los estudios y trabajos experimentales realizados años atrás, los resultados obtenidos presentan semejanza a dichas investigaciones, debido a que los resultados obtenidos de la densidad básica promedio para la provincia de Pastaza son de 0.44 gr/cm^3 , verificando un buen resultado en relación con las investigaciones de años atrás.

Teniendo como resultado que la madera de canelo es una “madera suave” o madera de baja resistencia, ubicándose en el Grupo “C” que presenta una densidad básica entre 0.40 y 0.55 gr/cm^3 según la NEC-SE-MD. [18]

b) Contenido de humedad seco

Para la obtención del contenido de humedad seco de la madera de canelo, el cual paso por un proceso de secado natural de 1 año, se tomaron 3 muestras de las probetas que se utilizaron para los ensayos mecánicos. Utilizando la ecuación 1, se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA XVIII.

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA PUYO

# Muestra	Parroquia	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)	Probeta ensayo
1.	Puyo	39.62	35.69	11.02	Tracción
2.		38.45	34.79	10.51	
3.		42.59	38.71	10.04	
4.		162.06	149.92	8.10	Flexión
5.		153.58	141.55	8.50	
6.		160.23	147.59	8.56	
Promedio				10.52	Tracción
				8.39	Flexión

TABLA XIX.

CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA EL TRIUNFO

# Muestra	Parroquia	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)	Probeta ensayo
1.	El triunfo	34.59	31.15	11.04	Tracción
2.		34.56	31.17	10.88	
3.		32.54	29.43	10.57	
4.		134.52	122.23	10.05	Flexión
5.		144.38	131.47	9.82	
6.		131.34	119.25	10.14	
Promedio				10.83	Tracción
				10.00	Flexión

TABLA XX.
CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA VERACRUZ

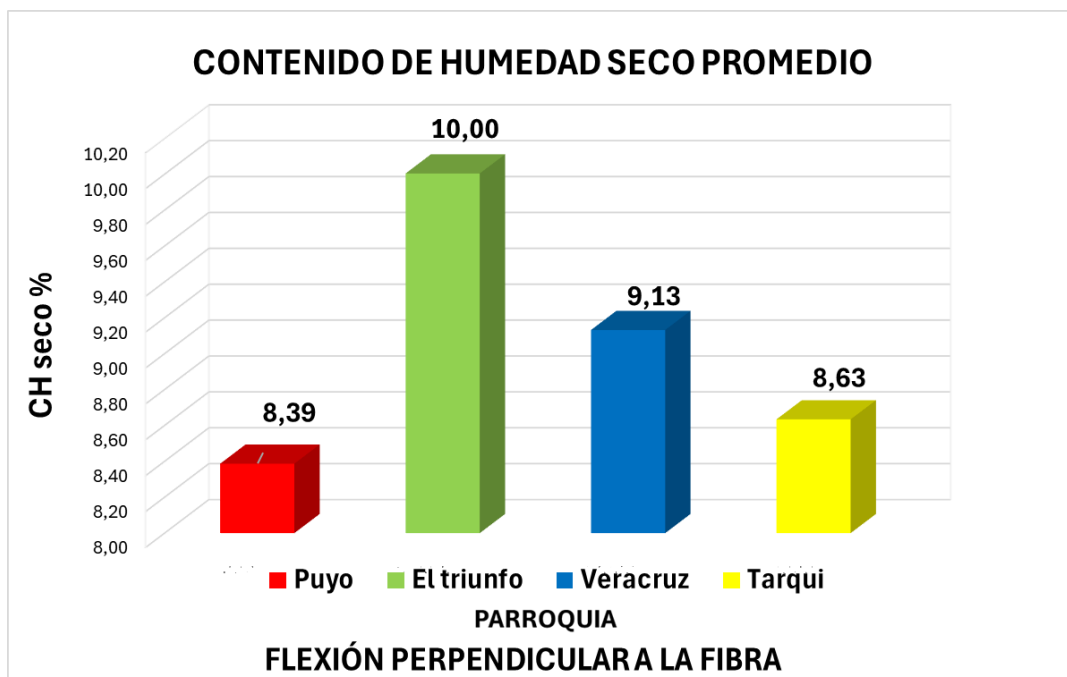
# Muestra	Parroquia	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)	Probeta ensayo
1.	Veracruz	38.34	34.91	9.83	Tracción
2.		40.00	36.35	10.04	
3.		39.55	35.90	10.17	
4.		133.45	121.45	9.88	Flexión
5.		153.23	140.78	8.84	
6.		155.02	142.65	8.67	
Promedio				10.01	Tracción
				9.13	Flexión

TABLA XXI.
CONTENIDO DE HUMEDAD SECO DE MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA TARQUI

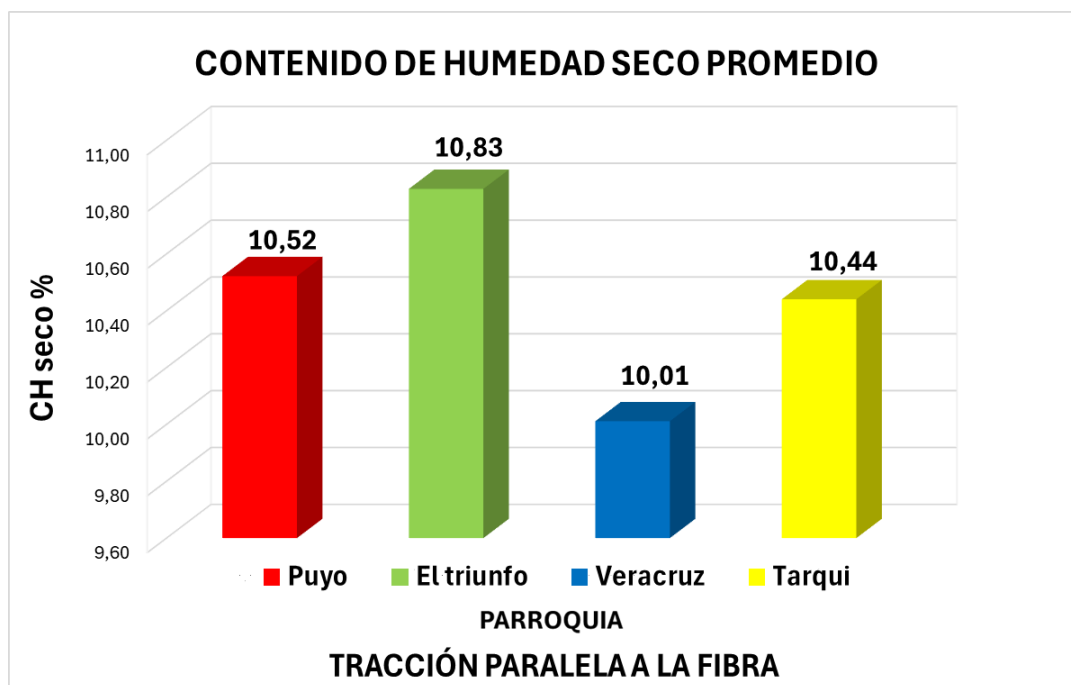
# Muestra	Parroquia	Masa húmeda (gr)	Masa anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)	Probeta ensayo
1.	Tarqui	42.48	38.52	10.28	Tracción
2.		42.72	38.74	10.27	
3.		41.15	37.15	10.77	
4.		161.86	149.29	8.42	Flexión
5.		160.09	146.81	9.05	
6.		160.55	148.06	8.44	
Promedio				10.44	Tracción
				8.63	Flexión

La madera con mayor contenido de humedad seco fue proveniente de la parroquia “El triunfo” con un resultado de 10.83% para las probetas ensayadas a tracción y de 10.00% para las probetas ensayadas a flexión, mientras que la madera que presentó un menor contenido de humedad seco fue proveniente de la parroquia “Veracruz” con un resultado de 10.01 % para las probetas ensayadas a tracción y de 8.63% para las probetas ensayadas a flexión de madera proveniente del Puyo.

En la gráfica 2 se muestran los contenidos de humedad secos promedio de la madera de canelo de las 4 parroquias de la provincia de Pastaza.



Gráfica II. Contenido de humedad seco promedio ensayadas a flexión perpendicular de la madera de canelo



Gráfica III. Contenido de humedad seco promedio ensayadas a tracción paralela de la madera de canelo

2) *Propiedades mecánicas*

Se obtuvieron las propiedades mecánicas de cada uno de los ensayos: flexión perpendicular y tracción paralela a la fibra, ejecutados en 48 probetas de madera de canelo, el cual se dividió 24 probetas por ensayo.

a) *Flexión perpendicular a la fibra*

○ Parroquia “Puyo”:

Comenzaremos por presentar 2 tablas con los resultados obtenidos del ensayo a flexión perpendicular, el cual en la tabla 22 muestra las cargas y deflexiones, mientras que la tabla 23 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 4 y el esfuerzo admisible que se calculó con la ecuación 5 de la madera de canelo de la parroquia del Puyo.

TABLA XXII.

CARGAS Y DEFLEXIONES DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA PUYO

Parroquia		Puyo		
ID Muestra	Carga máxima (N)	Deflexión en carga máxima (mm)	Carga en el límite proporcional (N)	Deflexión en el límite proporcional (mm)
FP-1	2951.53	12.28	1817.54	5.00
FP-2	2715.93	13.31	1616.49	4.55
FP-3	2629.59	11.01	1693.28	4.70
FP-4	2611.73	13.48	1530.54	4.45
FP-5	3002.90	12.51	1739.07	4.60
FP-6	2916.76	14.27	1708.20	4.78

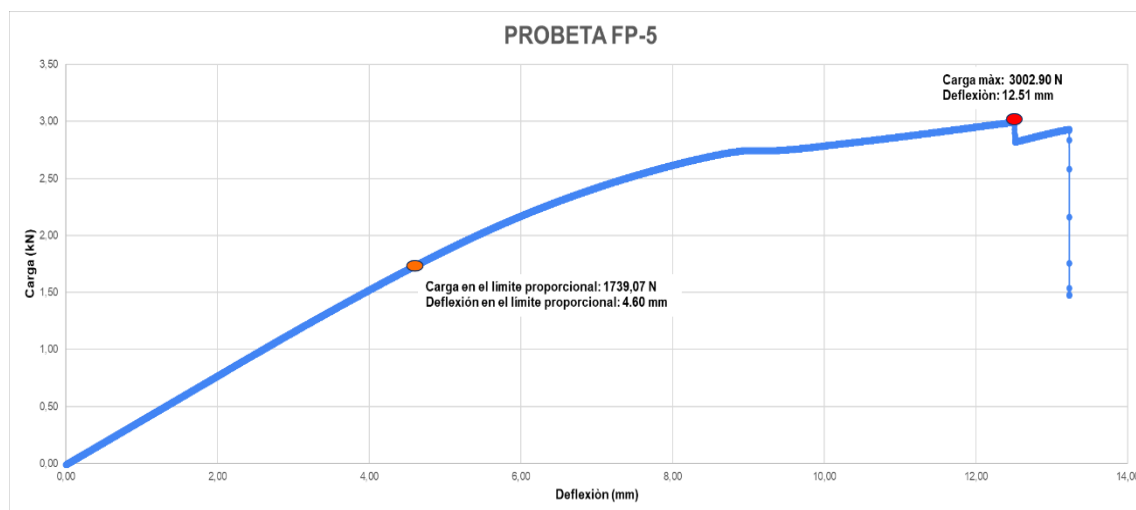
TABLA XXIII.

ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA PUYO

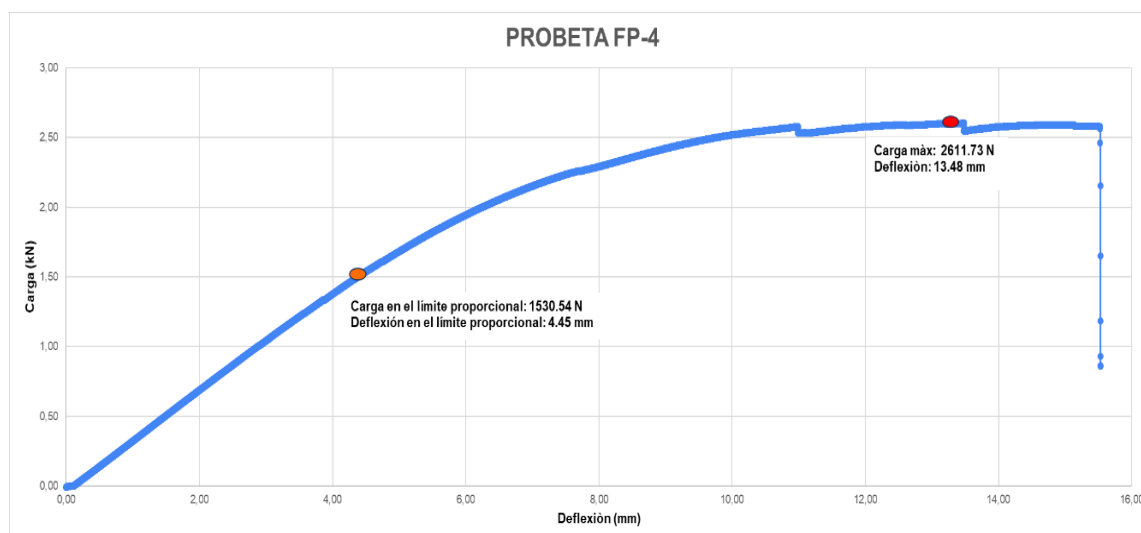
Parroquia	Puyo			
ID Muestra	Esfuerzo en el límite proporcional (MPa)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
FP-1	62.81	102.00	10854.29	31.93
FP-2	55.87	93.86	10608.38	29.38
FP-3	58.52	90.88	10757.67	28.45
FP-4	52.90	90.26	10270.04	28.26
FP-5	60.40	103.78	11288.77	32.49
FP-6	59.04	100.80	10670.83	31.56
Promedio	58.26	96.93	10741.66	30.35

Con los resultados obtenidos del ensayo a flexión, se puede observar que la resistencia máxima que se alcanzó en las probetas de madera de canelo para la parroquia del Puyo fue de 103.78 MPa, por lo contrario, la resistencia mínima fue de 90.26 MPa, dando una variación de 0.14 % entre la resistencia a flexión máxima y mínima.

Seguidamente en la gráfica 4 se muestra la gráfica de carga vs deflexión de la probeta “FP-5” la cual obtuvo una resistencia máxima, mientras que en la gráfica 5 muestra la carga vs deflexión de la probeta “FP-4” la cual obtuvo una resistencia mínima.



Gráfica IV. Carga vs deflexión de la probeta “FP-5” de madera de canelo de la parroquia del Puyo



Gráfica V. Carga vs deflexión de la probeta “FP-4” de madera de canelo de la parroquia del Puyo

En base a los resultados obtenidos del ensayo a flexión perpendicular de las probetas de madera de canelo de la parroquia Puyo, se calculó un módulo de elasticidad promedio de 10741.66 MPa, mientras que el esfuerzo admisible promedio de 30.35 MPa.

○ Parroquia “El triunfo”:

A continuación, se presentan 2 tablas con los resultados obtenidos del ensayo a flexión perpendicular, el cual en la tabla 26 muestra las cargas y deflexiones, mientras que la tabla 27 presenta el esfuerzo en el límite proporcional, su resistencia máxima, el módulo de elasticidad y el esfuerzo admisible de la madera de canelo de la parroquia El triunfo.

TABLA XXIV.

CARGAS Y DEFLEXIONES DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA EL TRIUNFO

Parroquia		El Triunfo		
ID Muestra	Carga máxima (N)	Deflexión en carga máxima (mm)	Carga en el límite proporcional (N)	Deflexión en el límite proporcional (mm)
FE-1	2231.48	13.14	1302.51	4.69
FE-2	2235.71	13.25	1196.98	4.26
FE-3	2146.00	13.17	1057.96	3.92
FE-4	2111.40	13.71	963.74	3.56
FE-5	2292.52	11.76	1263.37	4.23
FE-6	2081.55	13.85	1074.04	4.12

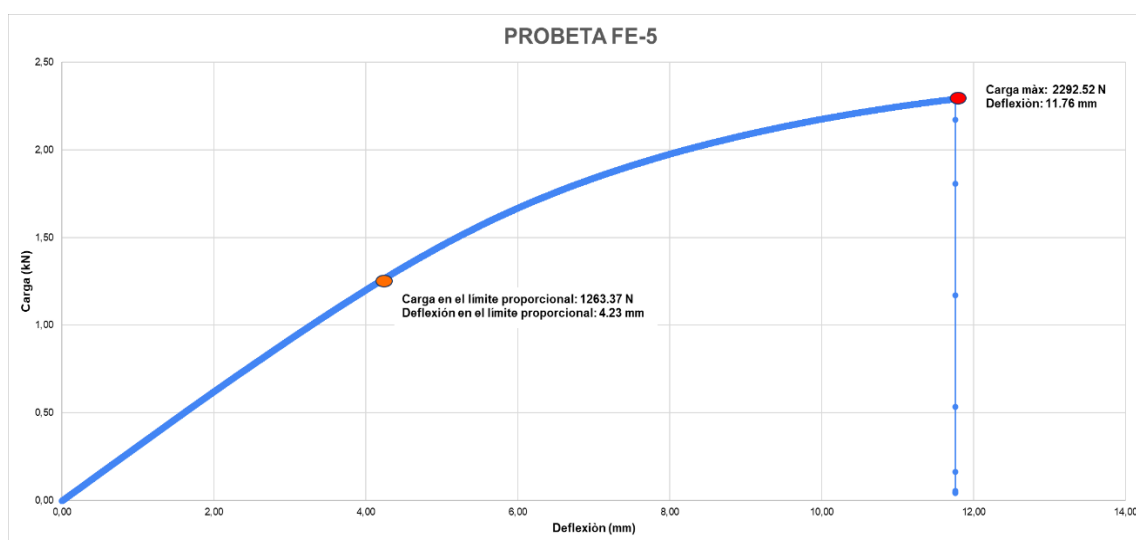
TABLA XXV.

ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA EL TRIUNFO

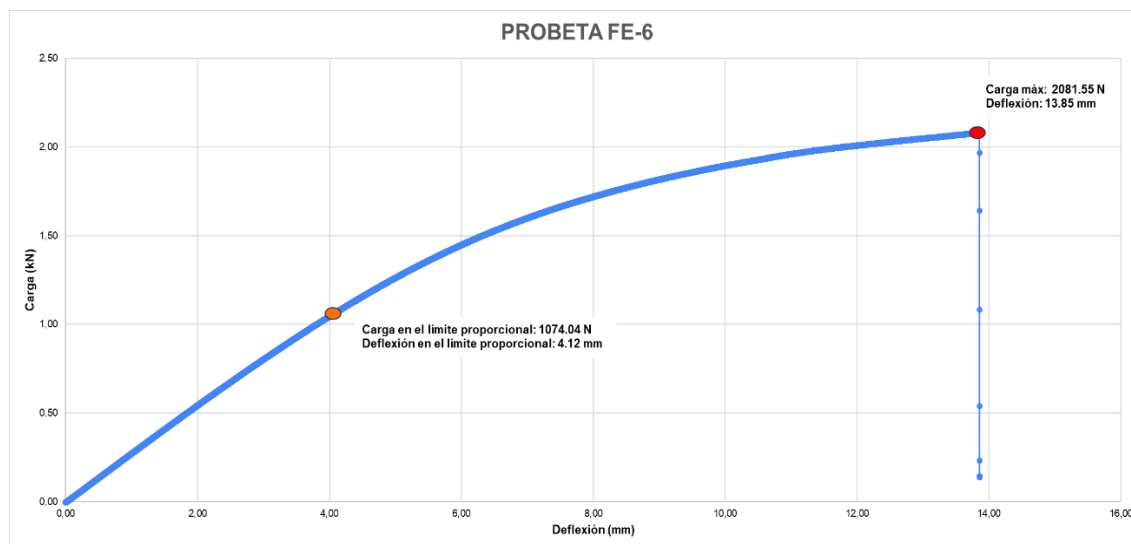
Parroquia	El Triunfo			
ID Muestra	Esfuerzo en el límite proporcional (MPa)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
FE-1	45.01	77.12	8292.70	24.14
FE-2	41.37	77.27	8390.05	24.19
FE-3	36.56	74.17	8058.81	23.22
FE-4	33.31	72.97	8083.46	22.84
FE-5	43.66	79.23	8918.21	24.80
FE-6	37.12	71.94	7784.14	22.52
Promedio	39.51	75.45	8254.56	23.62

Con los resultados obtenidos del ensayo a flexión, se puede observar que la resistencia máxima que se alcanzó en las probetas de madera de canelo para la parroquia El triunfo fue de 79.23 MPa, por lo contrario, la resistencia mínima fue de 71.94 MPa, dando una variación de 0.07 % entre la resistencia a flexión máxima y mínima.

Además, en la gráfica 6 se muestra la carga vs deflexión de la probeta “FE-5” la cual obtuvo una resistencia máxima, mientras que en la gráfica 7 muestra la gráfica de carga vs deflexión de la probeta “FE-6” la cual obtuvo una resistencia mínima.



Gráfica VI. Carga vs deflexión de la probeta “FE-5” de madera de canelo de la parroquia El triunfo



Gráfica VII. Carga vs deflexión de la probeta “FE-6” de madera de canelo de la parroquia El triunfo

En base a los resultados obtenidos del ensayo a flexión perpendicular de las probetas de madera de canelo de la parroquia El triunfo, se calculó un módulo de elasticidad promedio de 8254.56 MPa, mientras que el esfuerzo admisible promedio de 23.62 MPa.

○ Parroquia “Veracruz”:

Primero se presentarán 2 tablas con los resultados obtenidos del ensayo a flexión perpendicular, el cual en la tabla 30 muestra las cargas y deflexiones, la tabla 31 presenta el esfuerzo en el límite proporcional, su resistencia máxima, el módulo de elasticidad y el esfuerzo admisible de la madera de canelo de la parroquia del Veracruz.

TABLA XXVI.

CARGAS Y DEFLEXIONES DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA VERACRUZ

Parroquia		Veracruz		
ID Muestra	Carga máxima (N)	Deflexión en carga máxima (mm)	Carga en el límite proporcional (N)	Deflexión en el límite proporcional (mm)
FV-1	2238.77	13.73	1565.47	6.58
FV-2	2218.72	12.88	1344.78	5.12
FV-3	2376.79	13.20	1380.08	4.77
FV-4	2597.86	13.73	2078.18	7.24
FV-5	2779.53	13.54	1666.67	4.59
FV-6	2764.27	11.96	1689.31	4.86

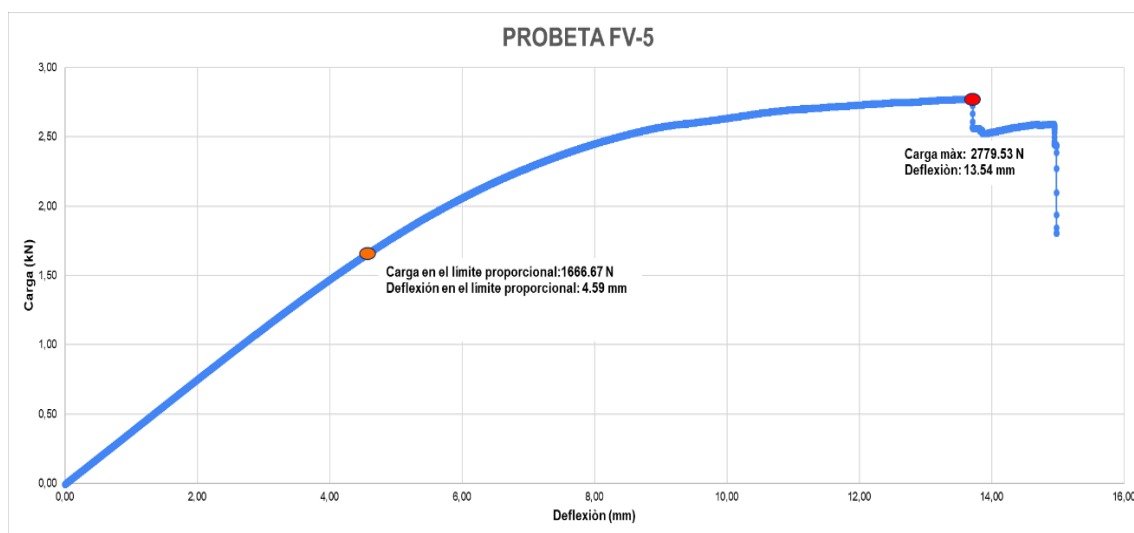
TABLA XXVII.

ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA VERACRUZ

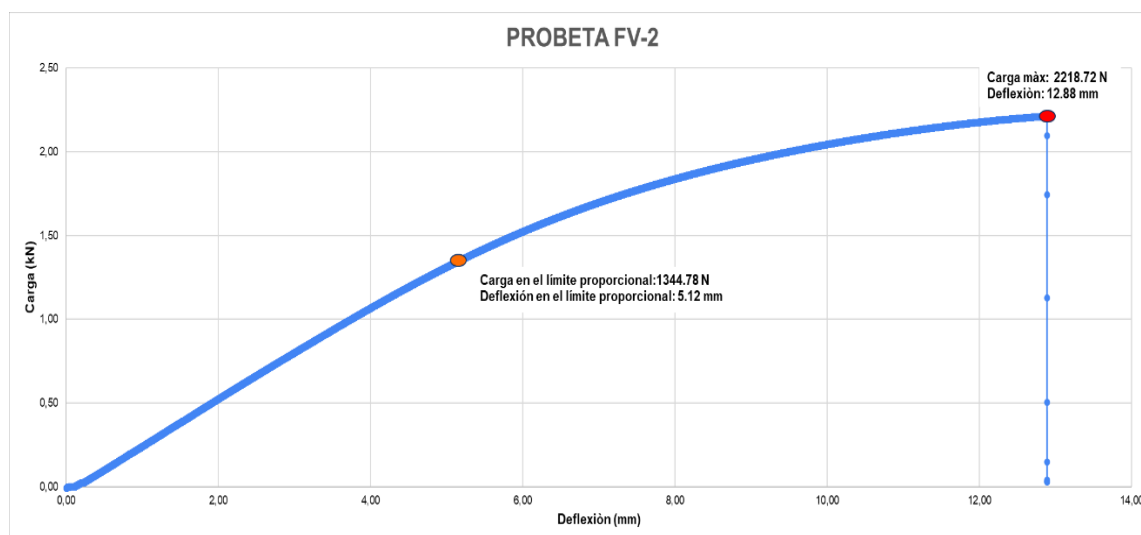
Parroquia	Veracruz			
ID Muestra	Esfuerzo en el límite proporcional (MPa)	Resistencia máxima (Mpa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
FV-1	54.10	77.37	7104.06	24.22
FV-2	46.48	76.68	7842.76	24.00
FV-3	47.70	82.14	8639.20	25.71
FV-4	71.82	89.78	8571.01	28.11
FV-5	57.60	96.06	10842.37	30.07
FV-6	58.38	95.53	10379.12	29.91
Promedio	56.01	86.26	8896.42	27.00

Con los resultados obtenidos del ensayo a flexión, se puede observar que la resistencia máxima que se alcanzó en las probetas de madera de canelo para la parroquia Veracruz fue de 96.06 MPa, por lo contrario, la resistencia mínima fue de 76.68 MPa, dando una variación de 0.19 % entre la resistencia a flexión máxima y mínima.

Después, en la gráfica 8 se muestra la carga vs deflexión de la probeta “FV-5” la cual obtuvo una resistencia máxima, mientras que en la gráfica 9 muestra la gráfica de carga vs deflexión de la probeta “FV-2” la cual obtuvo una resistencia mínima.



Gráfica VIII. Carga vs deflexión de la probeta “FV-5” de madera de canelo de la parroquia Veracruz



Gráfica IX. Carga vs deflexión de la probeta “FV-2” de madera de canelo de la parroquia Veracruz

En base a los resultados obtenidos del ensayo a flexión perpendicular de las probetas de madera de canelo de la parroquia Veracruz, se calculó un módulo de elasticidad promedio de 8896.42 MPa, mientras que el esfuerzo admisible promedio de 27.00 MPa.

○ Parroquia “Tarqui”:

A continuación, se presentarán 2 tablas con los resultados obtenidos del ensayo a flexión perpendicular, el cual en la tabla 34 muestra las cargas y deflexiones, la tabla 35 presenta el esfuerzo en el límite proporcional, su resistencia máxima, el módulo de elasticidad y el esfuerzo admisible de la madera de canelo de la parroquia del Tarqui.

TABLA XXVIII.

CARGAS Y DEFLEXIONES DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA TARQUI

Parroquia		Tarqui		
ID Muestra	Carga máxima (N)	Deflexión en carga máxima (mm)	Carga en el límite Proporcional (N)	Deflexión en el límite Proporcional (mm)
FT-1	3086.36	14.77	1414.64	3.74
FT-2	2626.14	11.57	1558.74	4.12
FT-3	2704.49	11.91	1694.79	4.58
FT-4	2719.52	11.85	1676.14	4.63
FT-5	2698.64	12.00	1637.73	4.68
FT-6	1983.83	13.35	1013.30	3.79

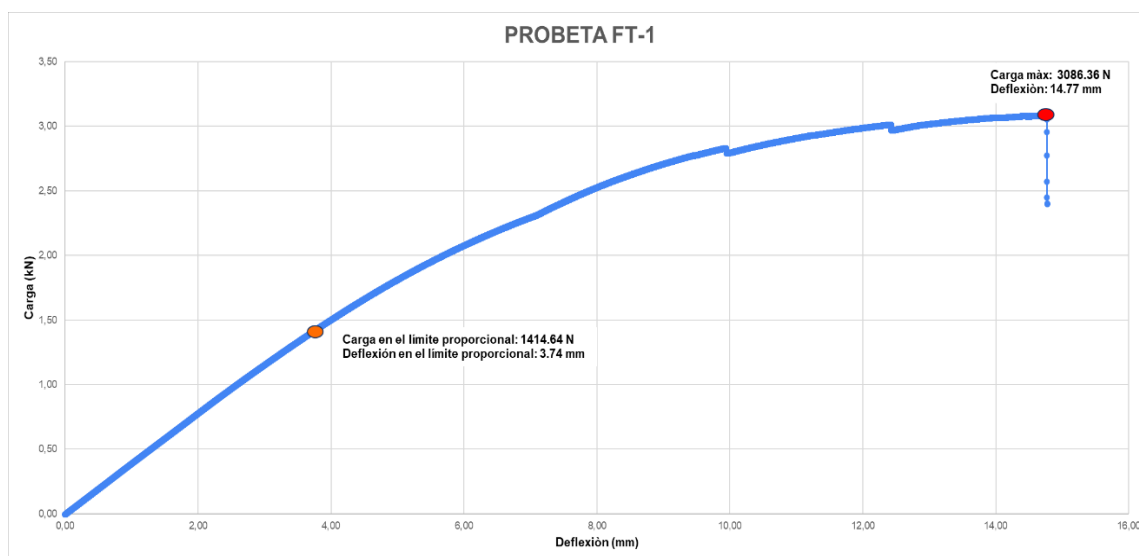
TABLA XXIX

ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, RESISTENCIA MÁXIMA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA TARQUI

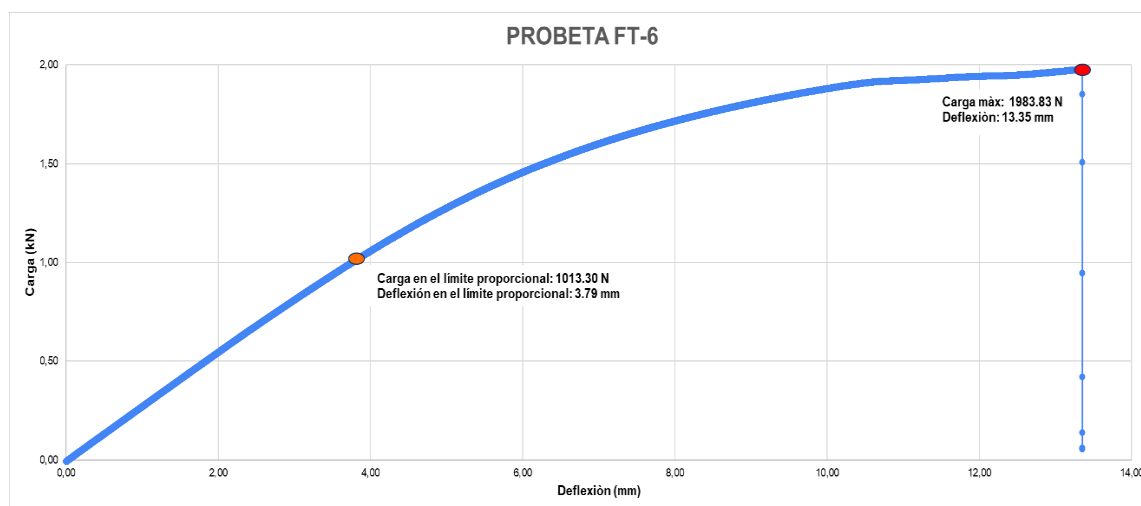
Parroquia	Tarqui			
ID Muestra	Esfuerzo en el límite proporcional (MPa)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
FT-1	48.89	106.66	11294.36	33.39
FT-2	53.87	90.76	11297.02	28.41
FT-3	58.57	93.47	11049.38	29.26
FT-4	57.93	93.99	10809.78	29.42
FT-5	56.60	93.26	10449.22	29.20
FT-6	35.02	68.56	7983.37	21.46
Promedio	51.81	91.12	10480.52	28.52

Con los resultados obtenidos del ensayo a flexión, se puede observar que la resistencia máxima que se alcanzó en las probetas de madera de canelo para la parroquia Tarqui fue de 106.66 MPa, por lo contrario, la resistencia mínima fue de 68.56 MPa, dando una variación de 0.38 % entre la resistencia a flexión máxima y mínima.

Seguidamente, en la gráfica 10 muestra la carga vs deflexión de la probeta “FT-1” la cual obtuvo una resistencia máxima, mientras que en la gráfica 11 muestra la gráfica de carga vs deflexión de la probeta “FT-6” la cual obtuvo una resistencia mínima.



Gráfica X. Carga vs deflexión de la probeta “FT-1” de madera de canelo de la parroquia Tarqui



Gráfica XI. Carga vs deflexión de la probeta “FT-6” de madera de canelo de la parroquia Tarqui

En base a los resultados obtenidos del ensayo a flexión perpendicular de las probetas de madera de canelo de la parroquia Tarqui, se calculó un módulo de elasticidad promedio de 10480.52 MPa, mientras que el esfuerzo admisible promedio de 28.52 MPa.

○ Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible:

A continuación, se resalta los resultados obtenidos del ensayo a flexión perpendicular de las probetas de madera de canelo de la provincia de Pastaza, donde se obtuvo un módulo de elasticidad de 9593.29 MPa, el cual forma parte del grupo “A” de la clasificación estructural de la madera según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-MD) – Estructuras de madera.

TABLA XXX.
MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa)

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

Nota: fuente [18]

Donde:

$E_{\min}$: 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). [18]

Por otra parte, la madera también se clasifica estructuralmente por sus esfuerzos admisibles, el cual se obtuvo un esfuerzo admisible de 27.37 MPa para la madera de canelo de la provincia de Pastaza, dando como resultado que no pertenece a ningún grupo estructural debido a que supera los esfuerzos admisibles máximos para madera estructural.

En relación con la investigación que trata sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Algarrobo blanco de corte final, se pudo determinar que este tipo de madera presenta un esfuerzo admisible de 38.10 MPa, superando significativamente el esfuerzo admisible de la madera de canelo ensayada a flexión [24]. Por otro lado, en un estudio que trata sobre las propiedades mecánicas de la madera de Guayacán para el uso en construcciones en Ecuador, esta presenta un esfuerzo admisible de 18.15 MPa, el cual presenta un menor esfuerzo admisible en comparación con el de madera de canelo. [8]

Por otro lado, las maderas que integran estos tres grupos estructurales deben resistir los siguientes esfuerzos ante cargas mecánicas:

TABLA XXXI
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 [18]

○ 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 canelo 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 38 se observa los módulos de elasticidad promedio ensayadas a flexión perpendicular a la fibra y el contenido de humedad que la madera de canelo presentó.

TABLA XXXII.
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DE CANELO

Parroquia	Módulo de elasticidad promedio (MPa)	Contenido de humedad (%)
Puyo	10741.66	8.39
El Triunfo	8254.56	10.00
Veracruz	8896.42	9.13
Tarqui	10480.52	8.63

Es el caso de la madera de canelo proveniente de la parroquia del Puyo, 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 parroquia El triunfo, 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 canelo, 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 parroquia.

TABLA XXXIII.
TIPOS FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE CANELO POR EL ENSAYO A
FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA.

Parroquia	ID Probeta	Tipo de falla	Fotografía
Puyo	FP-1	c	
	FP-2	c	
	FP-3	c	
	FP-4	c	
	FP-5	c	
	FP-6	c	
El Triunfo	FE-1	a	
	FE-2	a	
	FE-3	a	
	FE-4	a	
	FE-5	a	
	FE-6	a	
Veracruz	FV-1	a	
	FV-2	a	
	FV-3	b	
	FV-4	b	
	FV-5	c	
	FV-6	c	
Tarqui	FT-1	c	
	FT-2	c	
	FT-3	c	
	FT-4	c	
	FT-5	c	
	FT-6	a	

b) Tracción paralela a la fibra

○ Parroquia “Puyo”:

Se comenzará por presentar la tabla con los resultados obtenidos del ensayo a tracción paralela, el cual en la tabla 40 se muestra la resistencia a tracción paralela la cual se calculó con la ecuación 6, la deformación unitaria, el módulo de elasticidad se calculó con la ecuación 8 y el esfuerzo admisible que se calculó con la ecuación 9 de la madera de canelo de la parroquia del Puyo.

TABLA XXXIV.
RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA DEL PUYO.

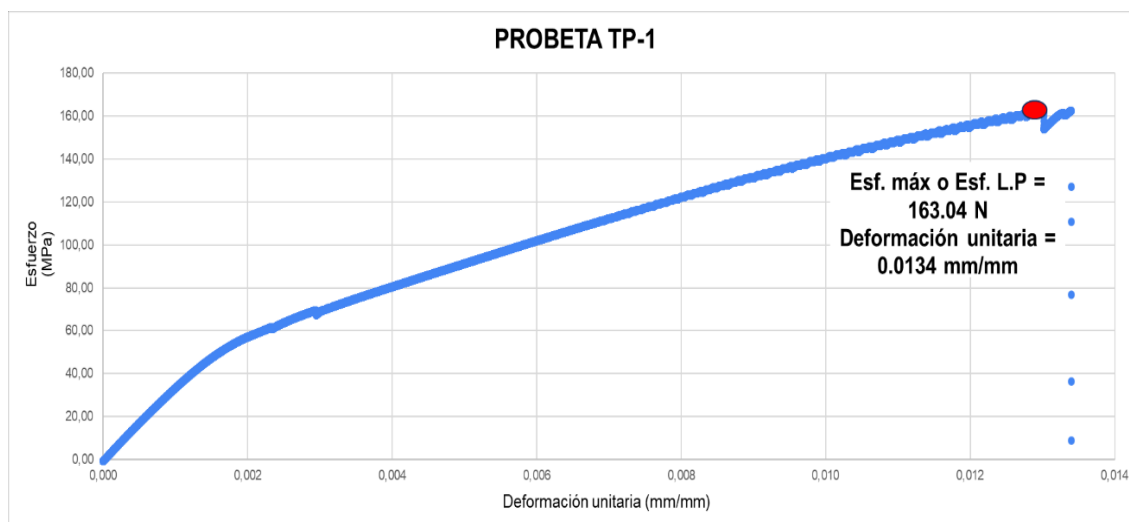
Parroquia		Puyo			
ID Muestra	Carga máxima (N)	Resistencia a tracción (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
TP-1	6603.07	163.04	1.34 E-02	3382.55	77.64
TP-2	2552.84	63.03	3.78 E-03	4634.79	30.02
TP-3	5135.88	126.81	1.14 E-02	3092.97	60.39
TP-4	3856.72	95.23	8.47 E-03	3122.22	45.35
TP-5	4928.90	121.70	1.02 E-02	3316.11	57.95
TP-6	6142.26	151.66	1.13 E-02	3726.31	72.22
Promedio	4869.95	120.25	9.75 E-03	3545.83	57.26

Con los resultados obtenidos del ensayo a tracción paralela a la fibra, se puede observar que la resistencia máxima a tracción que se alcanzó en las probetas de madera de canelo para la parroquia del Puyo fue de 163.04 MPa, por lo contrario, la resistencia mínima a tracción fue de 63.03 MPa, dando una variación de 1.12 % entre la resistencia a tracción máxima y mínima.

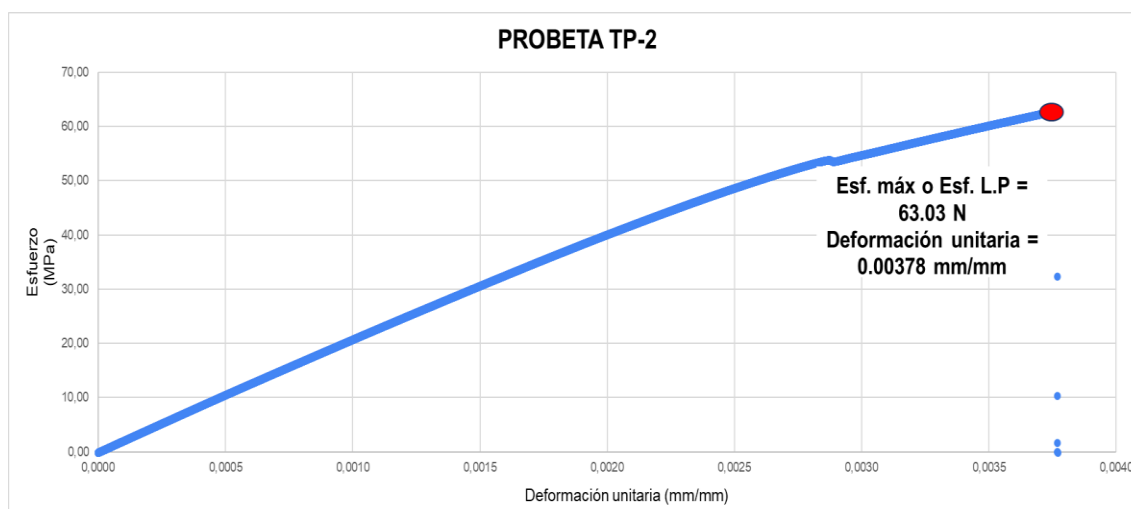
Por otra parte, el módulo de elasticidad promedio que se consiguió fue de 3545.83 MPa, mientras que el esfuerzo admisible promedio fue de 57.26 MPa.

Además, en la gráfica 12 muestra el esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TP-1” la cual obtuvo una resistencia a tracción máxima, mientras que en la gráfica 13 muestra la gráfica

de esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TP-2” la cual obtuvo una resistencia a tracción mínima en dirección paralela a las fibras.



Gráfica XII. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TP-1” de madera de canelo de la parroquia del Puyo



Gráfica XIII. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TP-2” de madera de canelo de la parroquia del Puyo

○ Parroquia “El triunfo”:

Se comenzará por presentar la tabla con los resultados obtenidos del ensayo a tracción paralela, el cual en la tabla 41 se muestra la resistencia a tracción paralela, la deformación unitaria, el módulo de elasticidad y el esfuerzo admisible de la madera de canelo de la parroquia El triunfo.

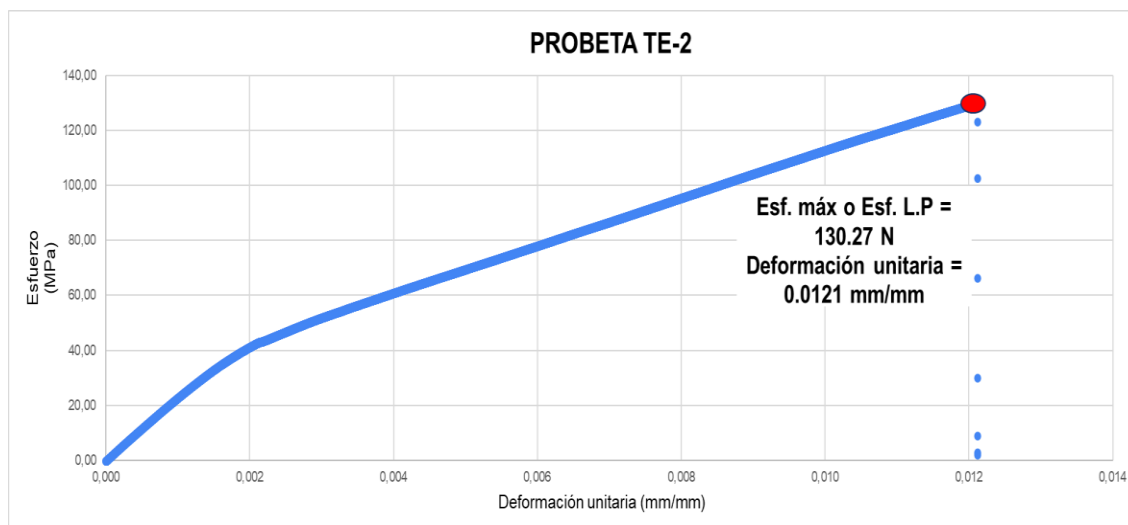
TABLA XXXV.
RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA EL TRIUNFO.

Parroquia		El Triunfo			
ID Muestra	Carga máxima (N)	Resistencia a tracción (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
TE-1	5010.84	123.72	1.04 E-02	3290.54	58.92
TE-2	5275.87	130.27	1.21 E-02	2987.81	62.03
TE-3	4014.25	99.12	8.19 E-03	3359.91	47.20
TE-4	3705.53	91.49	9.86 E-03	2577.31	43.57
TE-5	4384.93	108.27	1.01 E-02	2966.30	51.56
TE-6	4221.96	104.25	9.58 E-03	3021.62	49.64
Promedio	4435.56	109.52	1.01 E-02	3033.92	52.15

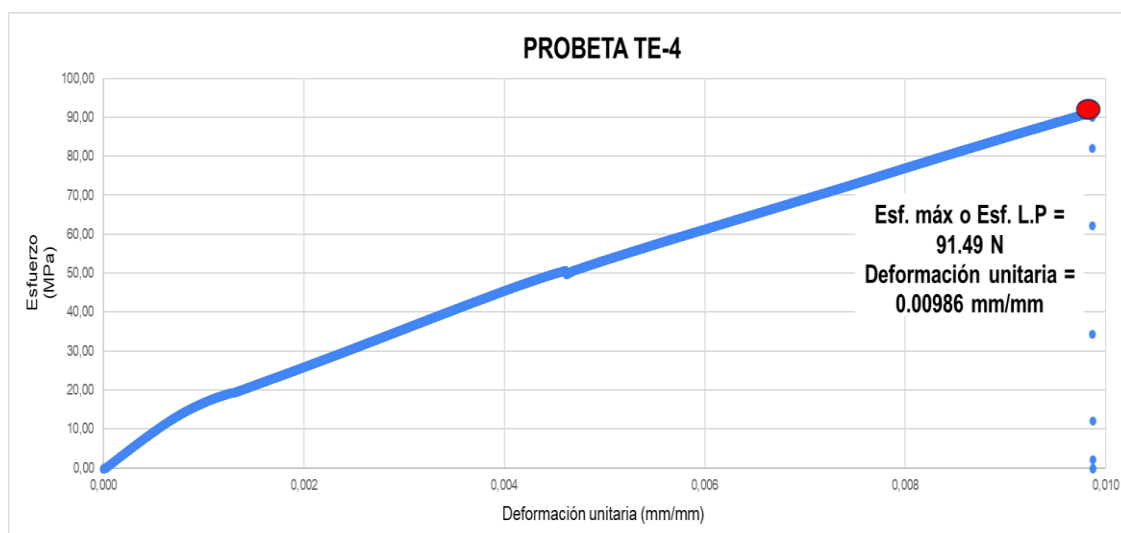
Con los resultados obtenidos del ensayo a tracción paralela a la fibra, se puede observar que la resistencia máxima que se alcanzó en las probetas de madera de canelo para la parroquia El triunfo fue de 130.27 MPa, por lo contrario, la resistencia mínima fue de 91.49 MPa, dando una variación de 0.39 % entre la resistencia a tracción máxima y mínima.

Por otra parte, el módulo de elasticidad promedio que se consiguió fue de 3033.92 MPa, mientras que el esfuerzo admisible promedio fue de 52.15 MPa.

Además, en la gráfica 14 muestra el esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TE-2” la cual obtuvo una resistencia a tracción máxima, mientras que en la gráfica 15 muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TE-4” la cual obtuvo una resistencia a tracción mínima en dirección paralela a las fibras.



Gráfica XIV. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TE-2” de madera de canelo de la parroquia El triunfo



Gráfica XV. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TE-4” de madera de canelo de la parroquia El triunfo

○ Parroquia “Veracruz”:

Se comenzará por presentar la tabla con los resultados obtenidos del ensayo a tracción paralela, el cual en la tabla 42 se muestra la resistencia a tracción paralela, la deformación unitaria, el módulo de elasticidad y el esfuerzo admisible de la madera de canelo de la parroquia del Veracruz.

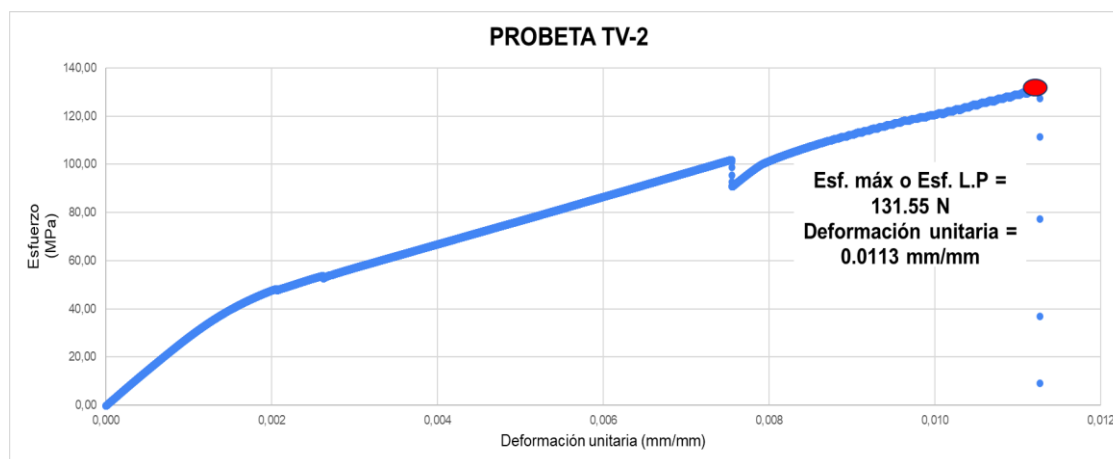
TABLA XXXVI
RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA VERACRUZ.

Parroquia		Veracruz			
ID Muestra	Carga Máxima (N)	Resistencia A Tracción (MPa)	Deformación Unitaria (mm/mm)	Módulo De Elasticidad (MPa)	Esfuerzo Admisible (MPa)
TV-1	4956.38	122.38	9.31 E-03	3653.13	58.28
TV-2	5327.92	131.55	1.13 E-02	3248.24	62.64
TV-3	4502.22	111.17	6.39 E-03	4833.30	52.94
TV-4	3964.21	97.88	6.53 E-03	4165.18	46.61
TV-5	2616.66	64.61	4.06 E-03	4425.27	30.77
TV-6	3720.87	91.87	6.86 E-03	3719.57	43.75
Promedio	4181.38	103.24	7.39 E-03	4007.45	49.17

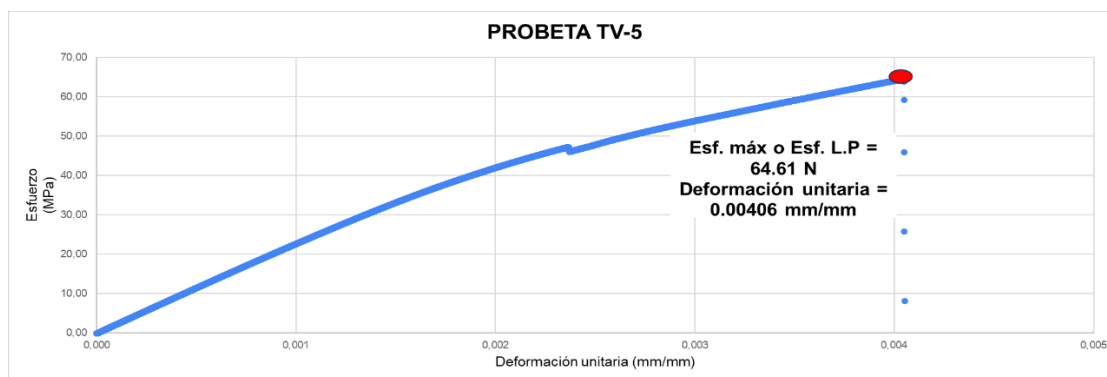
Con los resultados obtenidos del ensayo a tracción paralela a la fibra, se puede observar que la resistencia máxima que se alcanzó en las probetas de madera de canelo para la parroquia Veracruz fue de 131.55 MPa, por lo contrario, la resistencia mínima fue de 64.61 MPa, dando una variación de 0.67 % entre la resistencia a tracción máxima y mínima.

Por otra parte, el módulo de elasticidad promedio que se consiguió fue de 4007.45 MPa, mientras que el esfuerzo admisible promedio fue de 49.17 MPa.

Además, en la gráfica 16 muestra el esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TV-2” la cual obtuvo una resistencia a tracción máxima, mientras que en la gráfica 17 muestra el esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TV-5” la cual obtuvo una resistencia a tracción mínima en dirección paralela a las fibras.



Gráfica XVI. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TV-2” de madera de canelo de la parroquia Veracruz



Gráfica XVII. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TV-5” de madera de canelo de la parroquia Veracruz

○ Parroquia “Tarqui”:

Se comenzará por presentar la tabla con los resultados obtenidos del ensayo a tracción paralela, el cual en la tabla 43 se muestra la resistencia a tracción paralela, la deformación unitaria, el módulo de elasticidad y el esfuerzo admisible de la madera de canelo de la parroquia Tarqui.

TABLA XXXVII.

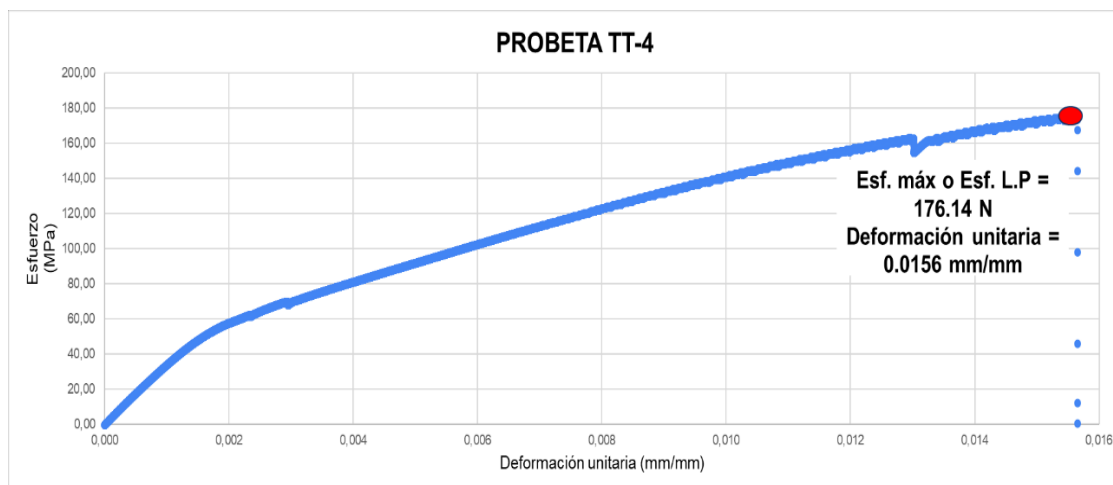
RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE CANELO DE LA PARROQUIA DEL TARQUI.

Parroquia		Tarqui			
ID Muestra	Carga máxima (N)	Resistencia a tracción (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
TT-1	3919.49	96.78	6.31 E-03	4263.33	46.08
TT-2	5889.97	145.43	1.20 E-02	3358.69	69.25
TT-3	4536.25	112.01	8.75 E-03	3555.75	53.34
TT-4	7133.78	176.14	1.56 E-02	3128.65	83.88
TT-5	5533.15	136.62	1.28 E-02	2976.49	65.06
TT-6	5430.85	134.10	8.75 E-03	4256.99	63.85
Promedio	5407.25	133.51	1.02 E-02	3589.98	63.58

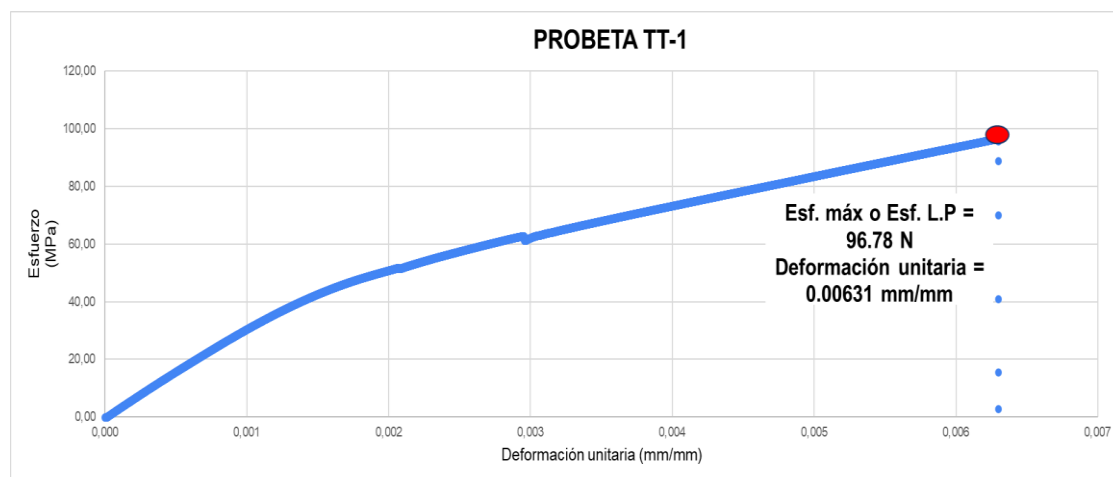
Con los resultados obtenidos del ensayo a tracción paralela a la fibra, se puede observar que la resistencia máxima que se alcanzó en las probetas de madera de canelo para la parroquia Tarqui fue de 176.14 MPa, por lo contrario, la resistencia mínima fue de 96.78 MPa, dando una variación de 0.79 % entre la resistencia a tracción máxima y mínima.

Por otra parte, el módulo de elasticidad promedio que se consiguió fue de 3589.98 MPa, mientras que el esfuerzo admisible promedio fue de 63.58 MPa.

Además, en la gráfica 18 muestra el esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TT-4” la cual obtuvo una resistencia a tracción máxima, mientras que en la gráfica 19 muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TT-1” la cual obtuvo una resistencia a tracción mínima en dirección paralela a las fibras.



Gráfica XVIII. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TT-4” de madera de canelo de la parroquia Tarqui



Gráfica XIX. Esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta “TT-1” de madera de canelo de la parroquia Tarqui

○ Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible:

A continuación, se resalta los resultados obtenidos del ensayo a tracción paralela a la fibra de las probetas de madera de canelo de la provincia de Pastaza, donde se obtuvo un módulo de elasticidad de 3544.30 MPa, el cual no forma parte de ningún grupo de la clasificación estructural de la madera según la NEC 2015 (NEC-SE-MD).

TABLA XXXVIII.
MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA LA MADERA (MPa)

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

Nota: fuente [18]

Donde:

$E_{\min}$: 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). [18]

Por otra parte, la madera también se clasifica estructuralmente por sus esfuerzos admisibles, el cual se obtuvo un esfuerzo admisible de 55.54 MPa para la madera de canelo de la provincia de Pastaza, dando como resultado que no pertenece a ningún grupo estructural debido a que supera los esfuerzos admisibles máximos para madera estructural.

En relación con la investigación que trata sobre el análisis de las propiedades físico - mecánicas de las maderas nativas del Ecuador, se pudo determinar que para el ensayo a tracción paralela la madera de canelo amarillo presenta un esfuerzo admisible de 40.46 MPa, el cual es menor que el esfuerzo admisible de la madera de canelo, debido a que la madera de canelo amarillo es la que presenta las propiedades mecánicas más bajas de todas las especies de canelo. [18]

Las maderas que integran estos tres grupos estructurales deben resistir los siguientes esfuerzos ante cargas mecánicas:

TABLA XXXIX
ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa)

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

Nota: fuente [18]

Debido a que los módulos de elasticidad son bajos, estos no clasifican a ningún grupo de madera estructural, lo contrario sucede con los esfuerzos admisibles, los cuales son valores altos y superan el límite según la norma, el cual nos dice que para probetas ensayadas a tracción paralela a la fibra el esfuerzo admisible es máximo es de 14.50 MPa respectivamente.

○ Relación del contenido de humedad Vs módulo de elasticidad:

La relación que existe entre el contenido de humedad y el módulo de elasticidad de la madera de canelo 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 44 se observa los módulos de elasticidad promedio ensayadas a tracción paralela a la fibra y el contenido de humedad que la madera de canelo presentó.

TABLA XL.
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DE CANELO

Parroquia	Módulo de elasticidad promedio (MPa)	Contenido de humedad (%)
Puyo	3545.83	10.52
El Triunfo	3033.92	10.83
Veracruz	4007.45	10.01
Tarqui	3589.98	10.44

Es el caso de la madera de canelo proveniente de la parroquia Veracruz, 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 parroquia El triunfo, 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 canelo, producidas por el ensayo a tracción paralela a la fibra fueron:

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

A continuación, la tabla 45 muestra los tipos de fallas presentadas en cada probeta ensayada a tracción paralela, y también presenta fotografías de las fallas producidas por cada parroquia.

TABLA XLI.
TIPOS FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE CANELO POR EL ENSAYO A
TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.

Parroquia	ID Probeta	Tipo de falla	Fotografía
Puyo	TP-1	a	
	TP-2	a	
	TP-3	c	
	TP-4	a	
	TP-5	b	
	TP-6	b	
El Triunfo	TE-1	b	
	TE-2	b	
	TE-3	d	
	TE-4	a	
	TE-5	c	
	TE-6	b	
Veracruz	TV-1	b	
	TV-2	a	
	TV-3	a	
	TV-4	a	
	TV-5	c	
	TV-6	c	
Tarqui	TT-1	b	
	TT-2	c	
	TT-3	c	
	TT-4	a	
	TT-5	b	
	TT-6	b	

c) *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 parroquia, sometidas a flexión perpendicular y tracción paralela a la fibra.

○ Flexión perpendicular a la fibra:

A continuación, en la tabla 46 se muestra los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de cada parroquia, con relación al ensayo a flexión perpendicular a la fibra.

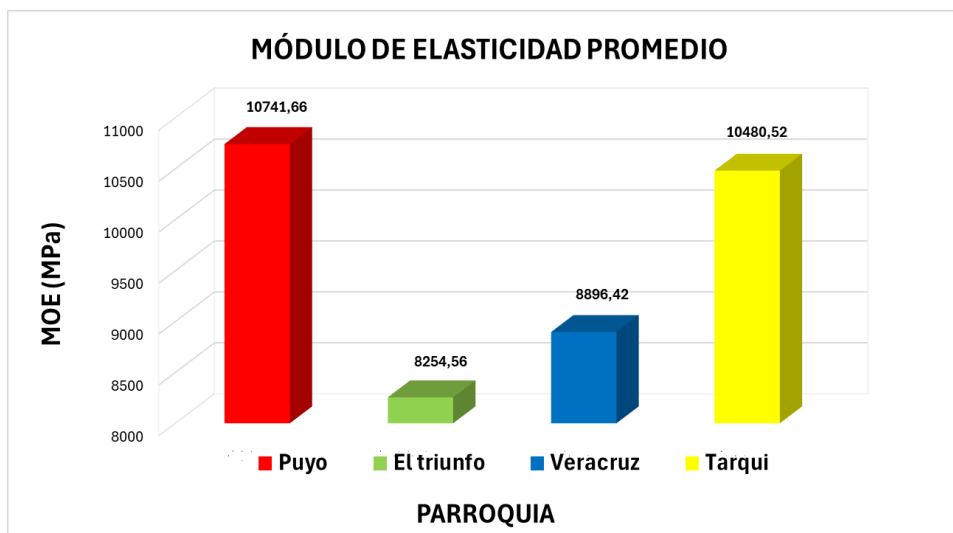
TABLA XLII.
MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE CANELO
SOMETIDA A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA.

Parroquia	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
Puyo	10741.66	30.35
El Triunfo	8254.56	23.62
Veracruz	8896.42	27.00
Tarqui	10480.52	28.52

La madera de canelo proveniente de las parroquias Puyo y Tarqui, en base a los resultados obtenidos presentaron una mejor rigidez a comparación de la madera de canelo proveniente de las parroquias Veracruz y El triunfo, las cuales presentaron una menor capacidad de resistencia a los esfuerzos y valores altos de deformación.

Por otra parte, el mayor módulo de elasticidad que presentó la madera de canelo fue para la parroquia el Puyo, el cual fue de 10741.66 MPa, en cambio el valor mínimo corresponde a la parroquia El triunfo, el cual fue de 8254.56 MPa.

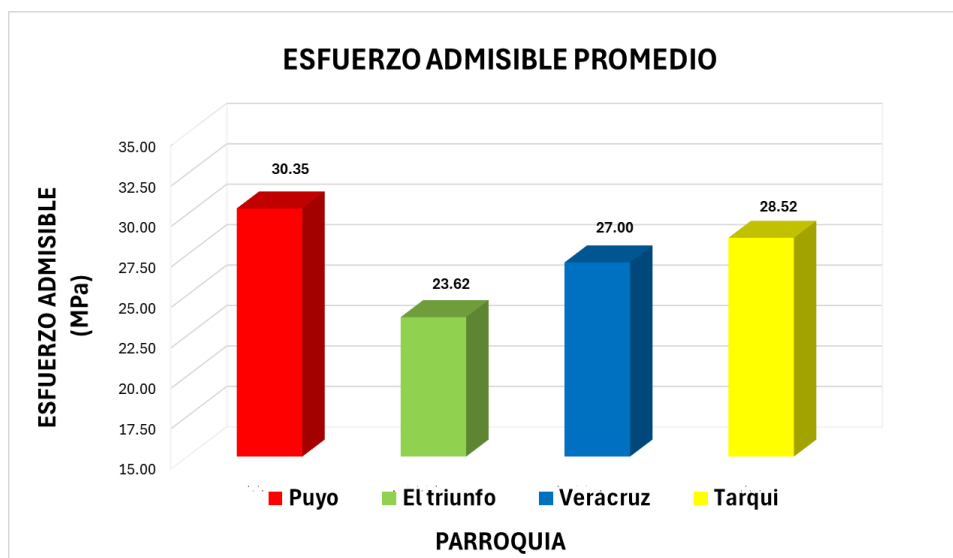
Así mismo, en la gráfica 20 muestra los módulos de elasticidad promedios de cada parroquia proveniente de la provincia de Pastaza.



Gráfica XX. Módulos de elasticidad promedio de la madera de canelo proveniente de la provincia de Pastaza

A diferencia de, el mayor esfuerzo admisible que presentó la madera de canelo fue para la parroquia el Puyo, el cual fue de 30.35 MPa, en cambio el valor mínimo corresponde a la parroquia El triunfo, el cual fue de 23.62 MPa.

A su vez, la gráfica 21 muestra los esfuerzos admisibles promedios de cada parroquia proveniente de la provincia de Pastaza.



Gráfica XXI. Esfuerzos admisibles promedio de la madera de canelo proveniente de la provincia de Pastaza

Ahora bien, con el fin de comparar los resultados obtenidos de la madera de canelo, 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.

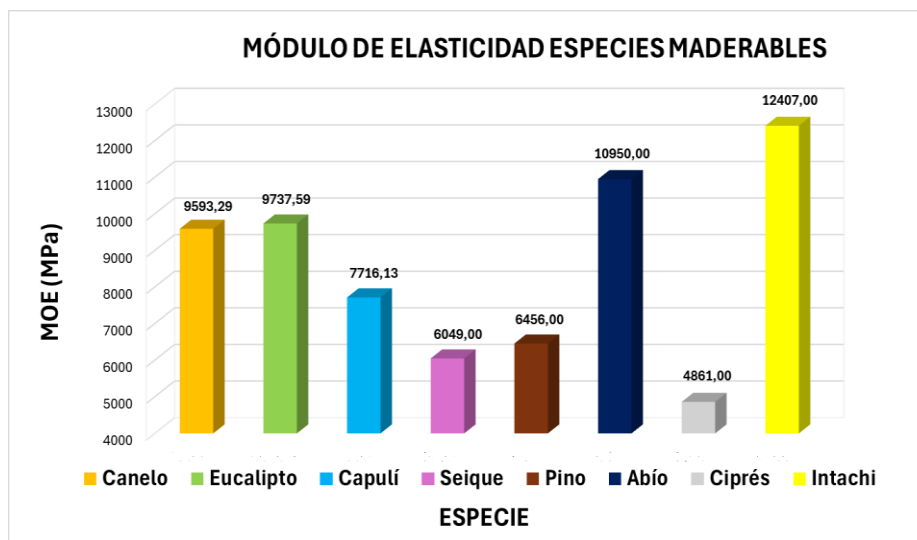
TABLA XLIII.

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

Especie de madera	Contenido de humedad (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)	Referencia
Canelo	9.04	9593.29	27.37	Autor
Eucalipto	15.80	9737.59	19.97	[14]
Capulí	15.15	7716.13	26.90	[15]
Seique	21.90	6049.00	16.27	
Pino	17.61	6456.00	15.63	
Abío	20.11	10950.00	30.76	[25]
Ciprés	16.67	4861.00	14.00	
Intachi	18.20	12407.00	38.69	

Como resultado, se puede observar que las especies de maderas de Intachi, Abío y Eucalipto presentan un módulo de elasticidad superior al de la madera de canelo, mientras que las especies de Capulí, Seique, Pino y Ciprés presentan un módulo de elasticidad inferior al de madera de canelo, es decir, presentan una menor resistencia a la aplicación de fuerzas en sentido perpendicular.

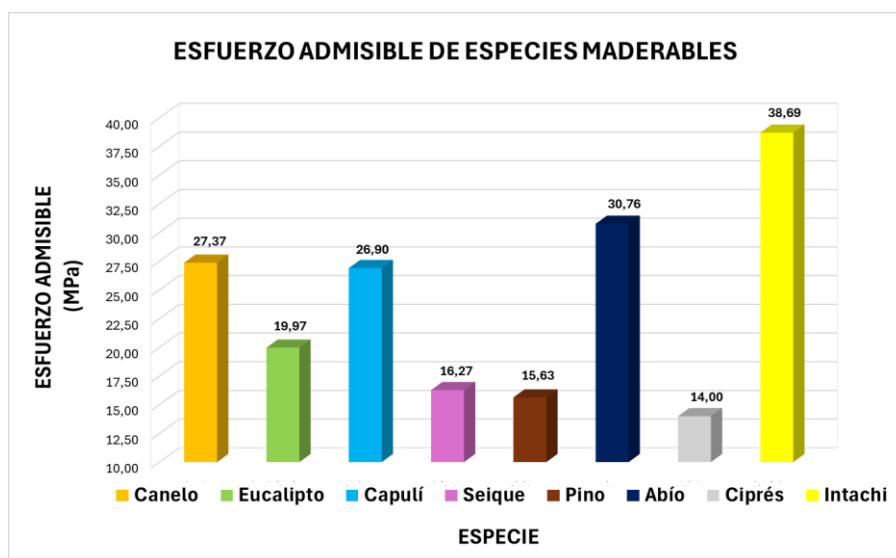
Además, en la gráfica 22 se muestra los módulos de elasticidad de especies maderables que se utilizan en el ámbito constructivo en el Ecuador.



Gráfica XXII. Módulos de elasticidad sometidas a flexión perpendicular a la fibra de especies maderables

Por otro lado, se puede observar que solo las especies de Intachi y Abío superan el valor de esfuerzo admisible de la madera de canelo, mientras que las especies de Eucalipto, Capulí, Seique, Pino y Ciprés presentan esfuerzos admisibles inferiores al de Canelo.

Además, en la gráfica 23 se muestra los esfuerzos admisibles de especies maderables que se utilizan en el sector de la construcción en el Ecuador.



Gráfica XXIII. Esfuerzos admisibles sometidas a flexión perpendicular a la fibra de especies maderables

○ Tracción paralela a la fibra:

A continuación, en la tabla 48 se muestra los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de cada parroquia, con relación al ensayo a tracción paralela a la fibra.

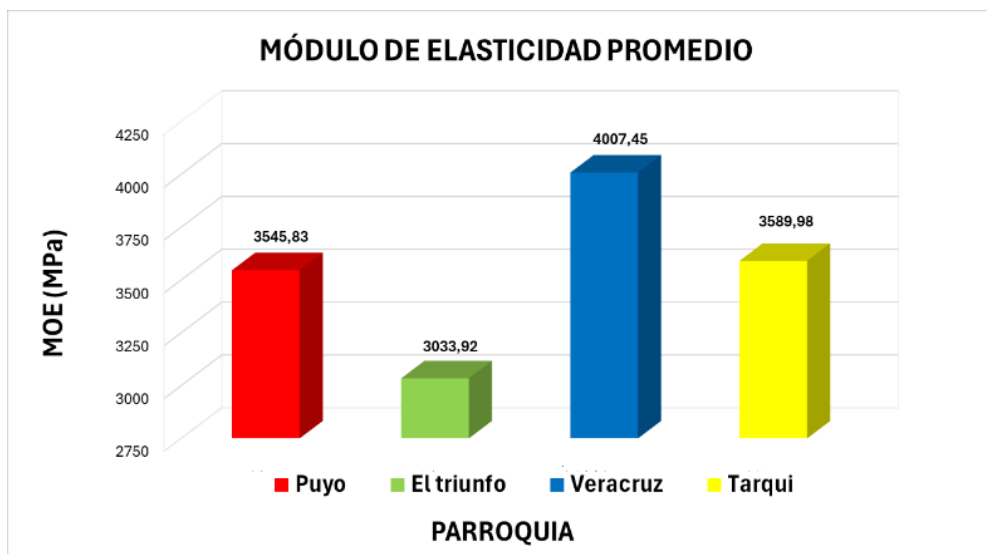
TABLA XLIV.
MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS ADMISIBLES PROMEDIOS DE LA MADERA DE CANELO
SOMETIDA A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.

Parroquia	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
Puyo	3545.83	57.26
El Triunfo	3033.92	52.15
Veracruz	4007.45	49.17
Tarqui	3589.98	63.58

La madera de canelo proveniente de las parroquias Veracruz y Tarqui, en base a los resultados obtenidos presentaron un mayor módulo de elasticidad a comparación de la madera de canelo proveniente de las parroquias Puyo y El triunfo, las cuales presentaron una menor capacidad de resistencia a la fuerza aplicada en sentido paralelo a la fibra.

Por otra parte, el mayor módulo de elasticidad que presentó la madera de canelo fue para la parroquia Veracruz, el cual fue de 4007.45 MPa, en cambio el valor mínimo corresponde a la parroquia El triunfo, el cual fue de 3033.92 MPa.

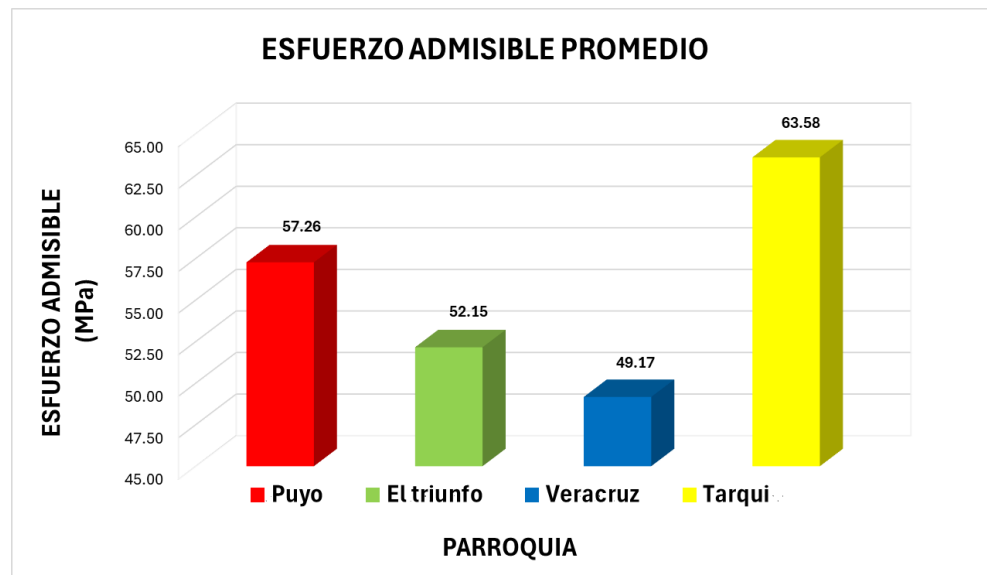
Así mismo, en la gráfica 24 muestra los módulos de elasticidad promedios de cada parroquia proveniente de la provincia de Pastaza.



Gráfica XXIV. Módulos de elasticidad promedio de la madera de canelo proveniente de la provincia de Pastaza

A diferencia del mayor esfuerzo admisible que presentó la madera de canelo fue para la parroquia el Tarqui, el cual fue de 63.58 MPa, en cambio el valor mínimo corresponde a la parroquia Veracruz, el cual fue de 49.17 MPa.

A su vez, la gráfica 25 muestra los esfuerzos admisibles promedios de cada parroquia proveniente de la provincia de Pastaza.



Gráfica XXV. Esfuerzos admisibles promedio de la madera de canelo proveniente de la provincia de Pastaza

Ahora bien, con el fin de comparar los resultados obtenidos de la madera de canelo, tanto su densidad básica como su resistencia a tracción paralela a la fibra, con varias especies maderables que se utilizan hoy en día en el sector de la construcción en el Ecuador.

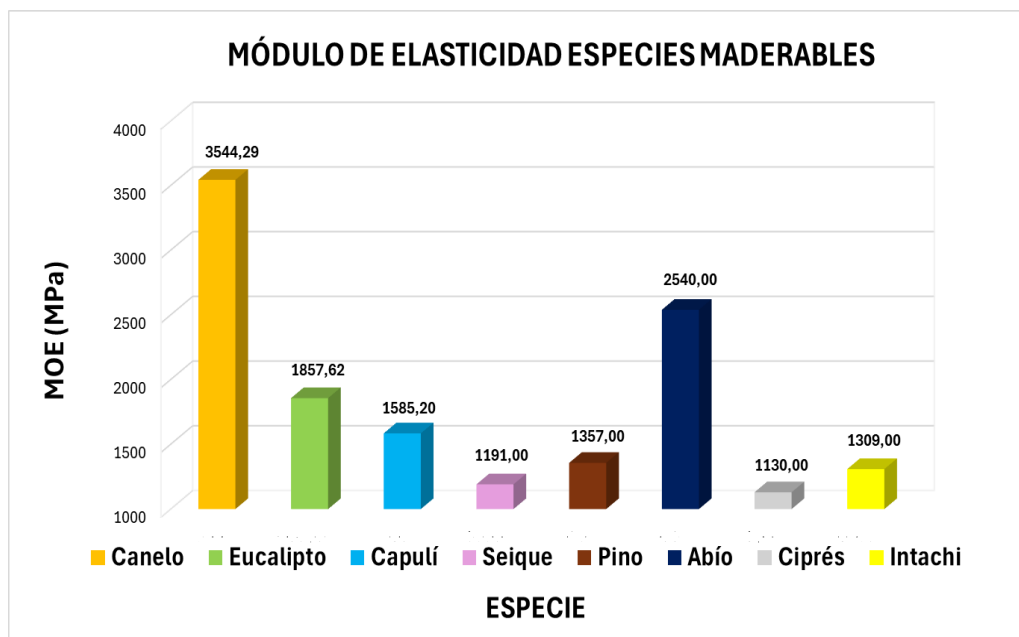
TABLA XLV.

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

Especie de madera	Contenido de humedad (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)	Referencia
Canelo	10.45	3544.29	55.54	Autor
Eucalipto	15.80	1857.62	30.69	[14]
Capulí	15.15	1585.20	30.92	[15]
Seique	14.30	1191.00	14.06	
Pino	13.90	1357.00	25.28	
Abío	15.83	2540.00	37.60	[25]
Ciprés	13.13	1130.00	23.02	
Intachi	18.47	1309.00	29.55	

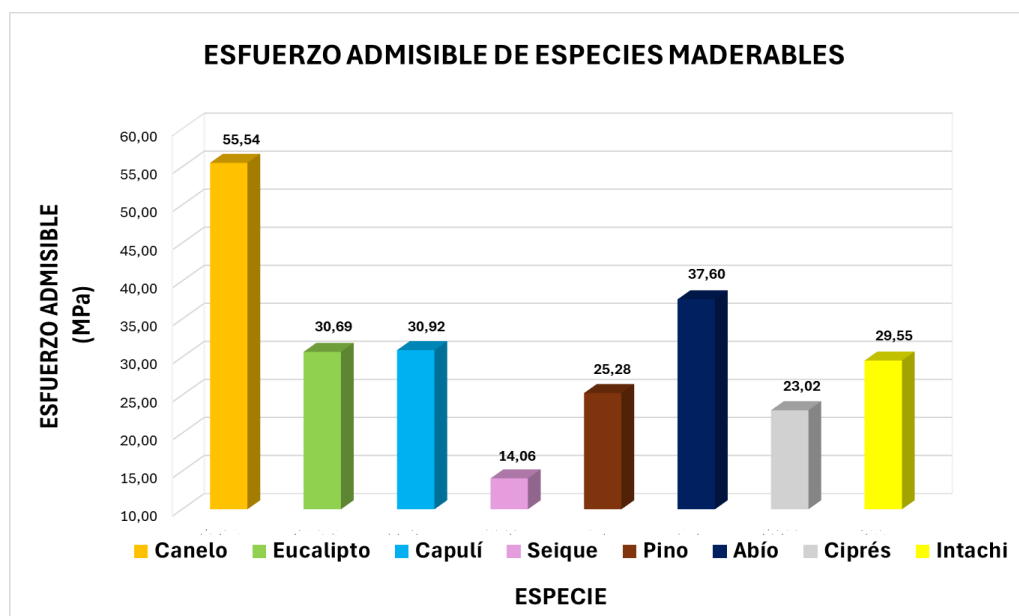
Como resultado, se puede observar que tanto el módulo de elasticidad como el esfuerzo admisible de la madera de canelo es superior al de las especies de Eucalipto, Capulí, Seique, Pino, Abío, Ciprés e Intachi, que hoy en día se ocupan como material estructural.

Además, en la gráfica 26 se muestra los módulos de elasticidad de especies maderables que se utilizan en el ámbito constructivo en el Ecuador.



Gráfica XXVI. Módulos de elasticidad sometidas a tracción paralela a la fibra de especies maderables

Por último, en la gráfica 27 se muestra los esfuerzos admisibles de especies maderables que se utilizan en el sector de la construcción en el Ecuador.



Gráfica XXVII. Esfuerzos admisibles sometidas a tracción paralela a la fibra de especies maderables

B. Verificación de hipótesis

Luego de analizar los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de la madera de canelo, tanto el módulo de elasticidad como los esfuerzos admisibles, se verificó que la madera de canelo puede ser utilizada en el sector de la construcción , debido a que los valores de módulos de elasticidad cumplen con los valores mínimos especificados en la norma NEC-SE-MD, mientras que los esfuerzos admisibles superan los valores especificados en dicha norma, tanto a flexión perpendicular como a tracción paralela la fibra.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

- Luego de haber realizado los ensayos de 48 probetas tanto a flexión perpendicular como tracción paralela a la fibra, se estableció que los comportamientos de estos reflejan diferentes resultados y comportamientos que tiene la madera de canelo de las diferentes parroquias provenientes de la provincia de Pastaza.
- La madera de canelo de la provincia de Pastaza obtuvo un contenido de humedad verde de 88.83 %, el cual se concluye que cumple con el porcentaje de contenido de humedad para madera recién talada o cortada (CH% - 35% para madera recién cortada).
- Se determinó las propiedades mecánicas de la madera de canelo: módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de canelo de cada parroquia, estas ensayadas a flexión perpendicular a la fibra, y estos valores fueron:
 - 1) Parroquia “Puyo”:
 - Módulo de elasticidad = 10741.66 MPa
 - Esfuerzo admisible = 30.35 MPa
 - 2) Parroquia “El triunfo”:
 - Módulo de elasticidad = 8254.56 MPa
 - Esfuerzo admisible = 23.62 MPa
 - 3) Parroquia “Veracruz”:
 - Módulo de elasticidad = 8896.42 MPa
 - Esfuerzo admisible = 27.00 MPa
 - 4) Parroquia “Tarqui”:
 - Módulo de elasticidad = 10480.52 MPa
 - Esfuerzo admisible = 28.52 MPa
- Se determinó las propiedades mecánicas de la madera de canelo: módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de canelo de cada parroquia, estas ensayadas a tracción paralela a la fibra, y estos valores fueron:
 - 1) Parroquia “Puyo”:
 - Módulo de elasticidad = 3545.83 MPa

- Esfuerzo admisible = 57.26 MPa
- 2) Parroquia “El triunfo”:
- Módulo de elasticidad = 3033.92 MPa
 - Esfuerzo admisible = 52.15 MPa
- 3) Parroquia “Veracruz”:
- Módulo de elasticidad = 4007.45 MPa
 - Esfuerzo admisible = 49.17 MPa
- 4) Parroquia “Tarqui”:
- Módulo de elasticidad = 3589.98 MPa
 - Esfuerzo admisible = 63.58 MPa
- Se dedujo un análisis comparativo de los resultados de las propiedades mecánicas de la madera de canelo de cada parroquia, y se concluyó que tanto el mayor módulo de elasticidad como el mayor esfuerzo admisible a flexión perpendicular a la fibra, fue para la parroquia “Puyo”, mientras que, para las probetas ensayadas a tracción paralela a la fibra, se concluyó que el mayor módulo de elasticidad fue para la parroquia “Veracruz” y el esfuerzo admisible máximo fue para la parroquia “Tarqui”.
 - Con el análisis de los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de la madera de canelo, se estableció un módulo de elasticidad promedio a flexión de 9593.29 MPa clasificándose según la norma NEC 2015 (Capítulo 8 - NEC-SE-MD) en el grupo de madera estructural tipo “A”, donde el nivel del módulo elasticidad va desde 9500 MPa a 13000 MPa.
 - También se concluyó que el esfuerzo admisible promedio a flexión de la madera de canelo fue de 27.37 MPa, no clasificándose en ningún grupo de madera estructural según la norma NEC 2015 (Capítulo 8 - NEC-SE-MD), debido a que el máximo esfuerzo admisible a flexión estática para el grupo tipo “A” es 21 MPa.
 - Por último, se dedujo que el esfuerzo admisible promedio a tracción paralela a la fibra de la madera de canelo fue de 55.54 MPa, no clasificándose en ningún grupo de madera estructural según la norma NEC 2015 (Capítulo 8 - NEC-SE-MD), debido a que el máximo esfuerzo admisible a tracción paralela a la fibra para el grupo tipo “A” es 14.50 MPa.

B. Recomendaciones

- Al momento de la fabricación de las probetas a ensayarse tanto a flexión perpendicular como a tracción paralela a la fibra, se recomienda seguir los parámetros de la norma ASTM D143-94 y verificar que cumpla con las medidas que nos da esta norma, debido a que de estos dependerá los resultados a obtenerse.
- También se recomienda la utilización de madera que no presente defectos, ni ataque de hongos o algún otro tipo de agentes externos que afectan a la madera.
- Para la obtención de mejores resultados, se recomienda la utilización de madera que haya pasado por un proceso de secado natural o secado al aire libre de al menos 1 año o más.
- Al momento de realizar los ensayos a flexión perpendicular a la fibra, se aconseja marcar con un marcador o esfero la mitad de la probeta a ensayarse, para mayor facilidad al momento de aplicar la carga perpendicular en el centro de la probeta.
- Para la obtención del contenido de humedad de futuras maderas a ensayarse, se recomienda el uso de equipos más exactos y con resultados más fiables, tal, así como el “higrómetro”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] V. L. Sarabia, "WOOD CONSTRUCCION DE MADERA EN ALTURA," pp. 2–3, 2014.
- [2] P. A. Espinosa, D. Proaño, and L. E. Barrera Peñafiel, "Catálogo de madera Estructural de Ecuador," 2018, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/361899534>
- [3] R. Pérez, M. T. Pino, C. Vergara, O. Zamora, E. Domínguez, and F. Alvarez, "Canelo: un árbol alto en metabolitos saludables amenazado por el cambio climático. Informativo INIA N°40," *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 40, pp. 3–4, Mar. 2020, Accessed: Mar. 08, 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/339876294>
- [4] A. B. Aramburu, D. A. Gatto, R. Beltrame, and R. A. Delucis, "SAMPLING SUFFICIENCY FOR MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD," *Maderas: Ciencia y Tecnología*, vol. 25, pp. 1–8, 2023, doi: 10.4067/s0718-221x2023000100411.
- [5] W. Contreras M., S. Will Valero, E. Thomson, M. E. Owen deC., and E. Barrios, "DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE DISEÑO DE VIGAS LAMINADAS DE PINO CARIBE (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*) ENCOLADAS CON ADHESIVO DE ISOCIANATO (MDI).," *Ciencia y tecnología*, vol. 9, no. 3, pp. 285–298, 2007.
- [6] D. V. Igartúa, K. Moreno, J. C. Piter, and S. Monteoliva, "Densidad y propiedades mecánicas de la madera de *Acacia melanoxylon* Implantada en Argentina," *Maderas: Ciencia y Tecnología*, vol. 17, no. 4, pp. 809–820, 2016, doi: 10.4067/S0718-221X2015005000070.
- [7] I. Zaragoza-Hernández, V. R. Ordóñez-Candelaria, G. M. Bárcenas- Pazos, A. M. Borja-de la Rosa, and F. J. Zamudio- Sánchez, "Propiedades físico-mecánicas de una guadua mexicana (*Guadua aculeata*)," *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 17, no. 3, pp. 505–516, 2015, doi: 10.4067/s0718-221x2015005000045.
- [8] M. Bustamante Crespo *et al.*, "Caracterización térmica y mecánica de madera de guayacán para uso en las construcciones de Ecuador.," *Ciencia y Tecnología al servicio del pueblo*, vol. 5, no. 2, pp. 73–87, Nov. 2018.
- [9] C. N. Villacís Núñez, G. Moncayo, C. Narváez Muñoz, and J. G. Melo, "Caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de balsa (*Ochroma Pyramidale*) Ecuatoriana," *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, vol. 13, no. 1, pp. 61–64, Jun. 2018, doi: 10.24133/cctespe.v13i1.788.
- [10] L. Moya, A. Cardoso, M. Cagno, and H. O'Neill, "Caracterización estructural de madera aserrada de pinos cultivados en Uruguay," *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 17, no. 3, pp. 597–612, 2015, doi: 10.4067/s0718-221x2015005000053.
- [11] J. M. Clavón Gualoto and R. A. Francisco Javier, "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS MADERAS NATIVAS DEL ECUADOR: ALISO, CANELO AMARILLO, MANZANO COLORADO, ROBLE PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL CONVENTO PARA EL CENTRO PASTORAL ESPÍRITU

SANTO A UBICARSE EN EL CAMAL METROPOLITANO EN LA CIUDAD DE QUITO.,” ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, Sangolquí , 2013.

- [12] E. Valladares Pagliotti, “EL POTENCIAL DE LA MADERA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL,” 2014.
- [13] Á. Pérez Ortega, “Comparación de ensayos a compresión de madera estructural mediante norma UNE y norma ASTM,” Universidad de Valladolid, Valladolid, 2014.
- [14] 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),” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2021.
- [15] 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),” Ambato, Mar. 2023.
- [16] ASTM International, “ASTM standart (Standart Test Methos for small clear specimens of timber),” West Conshohocken, 2000.
- [17] Instituto Ecuatoriano de la Construcción, “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,” Quito, Jun. 2013.
- [18] Ministerio de desarrollo Urbano y Vivienda, “Norma Ecuatoriana de la Construcción - ESTRUCTURAS DE MADERA (NEC-SE-MD),” Dec. 2014.
- [19] ASTM Internacional, “ASTM standart (Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes),” 2015, doi: 10.1520/D0198-15.
- [20] Junta del acuerdo de Cartagena, “Manual de diseño para maderas del grupo andino,” CAHVAJAL S.A., 1984.
- [21] M. J. Zambrano, “Mapa de altitud de la provincia de Pastaza,” 2019.
- [22] Z. Aguirre Mendoza, Á. F. Loja Chalán, C. Solano Ayala, and N. Aguirre Mendoza, *Especies forestales más aprovechadas en la región sur del Ecuador*, EDILOJA. Loja, 2015.
- [23] J. J. Galindo Galindo, “Determinación de las propiedades mecánicas de las vigas de madera laminada como elementos estructurales,” Universidad de Cuenca, Cuenca, 2020.

- [24] R. Martínez, M. Ewens, S. Rolando, R. Agustín, and F. Benítez, “PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE CORTA FINAL DE *Prosopis alba* Gris,” *FORESTA VERACRUZANA*, vol. 19, pp. 17–22, 2017, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49752128003>
- [25] C. E. Cruz Salinas, “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MADERA ESTRUCTURAL ECUATORIANA Y SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE VIVIENDA SOCIAL,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2022.

ANEXOS

Anexo "A": Fotografías ensayos y obtención de madera

Fotografía 1	Fotografía 2
 Tronco recién cortado de madera de canelo.	 Muestras de madera verde de cada parroquia.
Fotografía 3	Fotografía 4
 Visita de campo a depósito de madera del Puyo.	 Corte de madera verde de canelo para contenido de humedad %.
Fotografía 5	Fotografía 6
 Preparación de probetas a flexión.	 Transporte de tabloncillos de madera de canelo.

Fotografía 7

Elección del mejor tabloncillo de madera de canelo.

Fotografía 8

Preparación del molde para la realización de probetas a tracción.

Fotografía 9

Toma de datos de muestras para contenido de humedad %.

Fotografía 10

Colocación de madera verde en el horno.

Fotografía 11

Árbol de canelo de la parroquia Veracruz.

Fotografía 12

Plantación de canelo en Chapinza – Pastaza Ecuador.

Fotografía 13

Probetas ensayadas a flexión perpendicular de la parroquia Puyo.

Fotografía 14

Probetas ensayadas a tracción paralela a la fibra de la parroquia Puyo.

Fotografía 15

Probetas ensayadas a flexión perpendicular de la parroquia El triunfo.

Fotografía 16

Probetas ensayadas a tracción paralela a la fibra de la parroquia El triunfo.

Fotografía 17

Probetas ensayadas a flexión perpendicular de la parroquia Veracruz.

Fotografía 18

Probetas ensayadas a tracción paralela a la fibra de la parroquia Veracruz.

Fotografía 19

Probetas ensayadas a flexión perpendicular de la parroquia Tarqui.

Fotografía 20

Probetas ensayadas a tracción paralela a la fibra de la parroquia Tarqui.

Fotografía 21

Colocación de probeta para ensayo a tracción paralela a la fibra.

Fotografía 22

Colocación de probeta para ensayo a flexión perpendicular a la fibra.

Fotografía 23

Toma de medidas de la probeta para ensayo a tracción paralela a la fibra.

Fotografía 24

Toma de medidas de la probeta para ensayo a flexión perpendicular a la fibra.

Fotografía 25

Probeta ensayada a tracción paralela a la fibra.

Fotografía 26

Probeta ensayada a flexión perpendicular a la fibra.

Anexo “B”: Norma ASTM D143-94



Designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000)*¹

Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber¹

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.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

*¹ Non-Keywords were added in April 2000.

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.

 D 143 – 94 (2000)*¹

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 Sizes²
- D 2395 Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Base Materials²
- D 3043 Methods of Testing Structural Panels in Flexure²
- D 3500 Test Method for Structural Panels in Tension²
- D 4442 Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials²

D 4761 Test Method for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material²

D 5536 Practice for Sampling the Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties²

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines²

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

¹ These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D7 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

moisture content will not occur. To prevent such changes, it is desirable that the testing room and rooms for preparation of test specimens have some means of humidity control.

6.3 Control of Temperature—Temperature and relative humidity together affect wood strength by fixing its equilibrium moisture content. The mechanical properties of wood are also affected by temperature alone. When tested, the specimens shall be at a temperature of $68 \pm 6^\circ\text{F}$ ($20 \pm 3^\circ\text{C}$). 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 3045.

8.3 Bearing Block—A bearing block of the form and size of that shown in Fig. 4 shall be used for applying the load for

 D 143 - 94 (2000)*¹

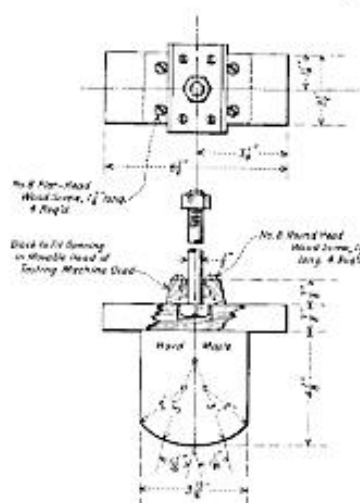


FIG. 4 Details of Bearing Block for Static Bending Tests

crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3), for primary method specimens, and at a rate of 0.05 in. (1.3 mm)/min for secondary method specimens.

8.6 Load Deflection Curves:

8.6.1 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 approxi-

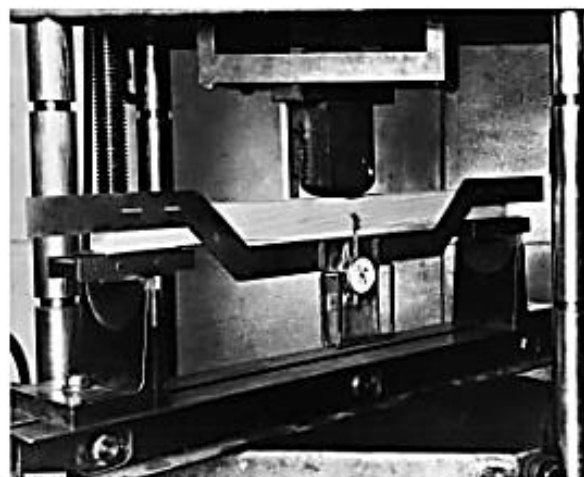


FIG. 3 Static Bending Test Assembly Showing Method of Load Application, Specimen Supported on Rollers and Laterally Adjustable Knife Edges, and Method of Measuring Deflection at Neutral Axis by Means of Yoke and Dial Attachment (Adjustable scale mounted on loading head is used to measure increments of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

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

head of 0.10 in. (2.5 mm)/min. 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.

D 143 - 94 (2000)*¹

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.

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

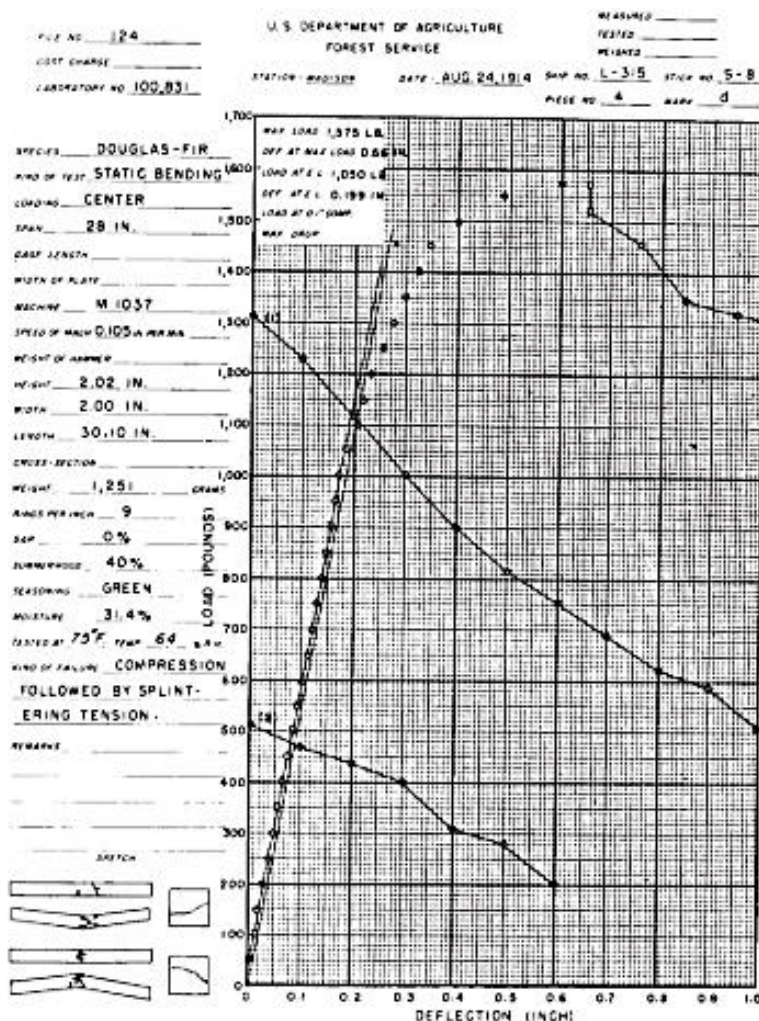
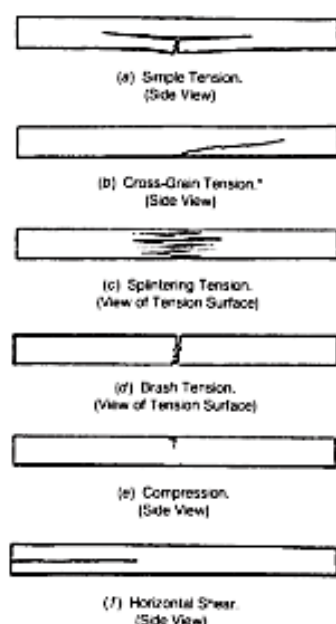


FIG. 5 Sample Data Sheet for Static Bending Test

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

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



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

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

FIG. 6 Types of Failures in Static Bending

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).

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 speci-

mens. 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.

FILE NO. 124
 COST CHARGE _____
 LABORATORY NO. 871902
 U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 FOREST SERVICE
 STATION WASH DC DATE NOV. 5, 1943 SHIP NO. 1390 SPEC. NO. 5-5
 PIECE NO. 5 DATE 6
 SPECIES RED FIR
 KIND OF TEST COMPRESSION
 LENDING PARALLEL TO GRAIN
 GRAIN _____
 END LENGTH 5 IN
 WIDTH OF PLATE _____
 MACHINE 4272
 SPEED OF MOV. 0.0023 in per min
 WEIGHT IN VAMBER _____
 HEIGHT _____
 WIDTH _____
 LENGTH 6.02 IN
 CROSS-SECTION 3.002 x 2.014 IN
 WEIGHT 198.9 GRAMS
 WOOD PER INCH 7
 TAP 0%
 SURF. WOOD _____
 SEASONING KILN DRY
 MOISTURE 11.5%
 TESTED AT 75°F HUM. 60 % RH
 KIND OF FAILURE _____
CRUSHING NEAR END
 REMARKS _____
 SKETCH 


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

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 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.

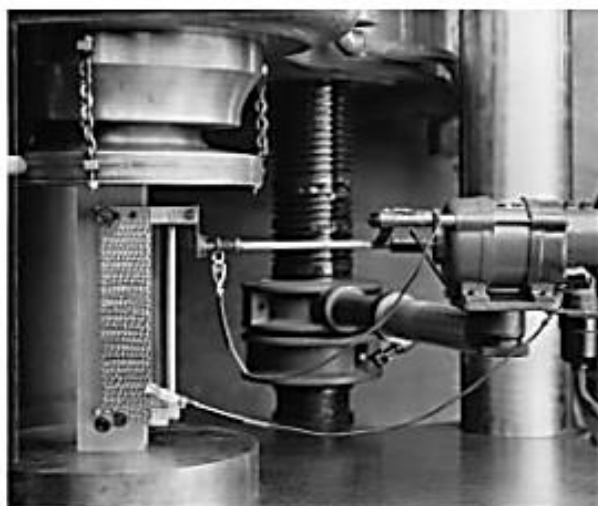


FIG. 8 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Using an Automatic Type of Compressometer to Measure Deformations
(The wire in the lower right-hand corner connects the compressometer with the recording unit.)



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

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 Arnsler 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. 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 tip (Fig. 15) having a radius of $\frac{3}{4}$ 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:

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

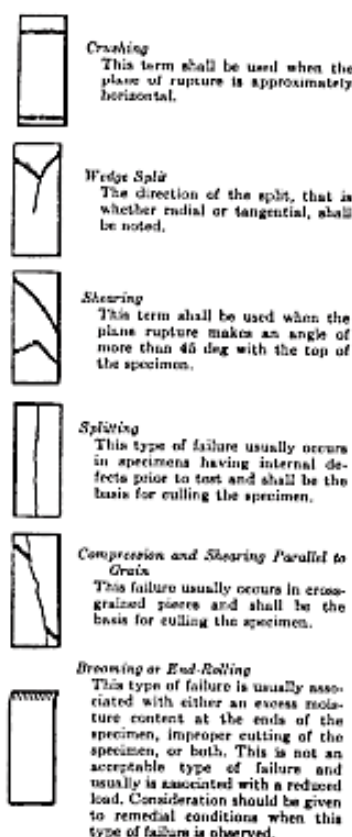


FIG. 10 Types of Failures in Compression

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).

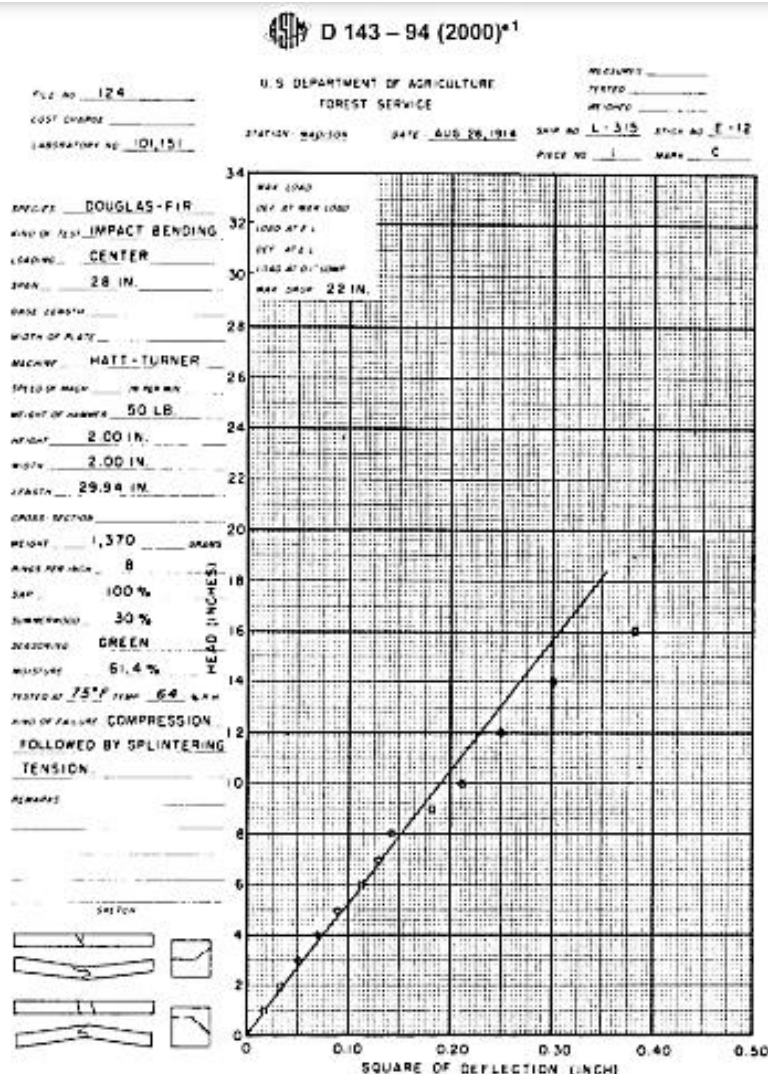


FIG. 13 Sample Data Sheet for Impact Bending Test

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).

D 143 - 94 (2000)*1

IMPACT BENDING											
1-3/4		F-12		MADISON		Date Aug. 20, 1914		101 (5)		124	
(Spec. No.)		(Spec. No.)						(Lab. No.)		(Specimen No.)	
Specimen		Reinforced		Order		Sawing		Grinding			
Peg		100		30		31.4		5		5	
Summer		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20		20		20		20		20	
Specimen		20</									

D 143 – 94 (2000)*¹
TOUGHNESS

SPECIES <u>PACIFIC SILVER FIR</u> STATION <u>BRIDGE</u> SHIPMENT NO. <u>1651</u>										
PROJECT <u>STY 11</u> SKEWING <u>GREEN</u>										
COST CHARGE <u>01-3-005</u> SPAN <u>9.97 IN</u> WEIGHED BY _____										
LABORATORY NOS. <u>768,773A,806A</u> MACHINE NO. <u>4,715</u> TESTED BY _____										
DATE <u>FEB. 1, 1950</u> TEMP. <u>75</u> OF _____ REL. HUMIDITY <u>88</u> %										
SPEC. NO.	LAB. NO.	DIMENSIONS (L" x W" x H")	WEIGHT IN	MOIST. %	ST. OF GR.	POSITION OF		FINAL MOIST. %	TOUGHNESS	REMARKS
						NOTCH	TEST			
							3	45		
22E-3-01	768 AND 806A	55.00	32.0	33.7	V			32	30	143.8
2	768 AND 806A	52.34	31.8	35.4	V			31	56	169.7
22E-5-01	768 AND 806A	53.56	32.7	34.7	V			33	10	136.8
2	768 AND 806A	53.00	32.6	33.3	V			34	4	127.6

FIG. 16 Sample Data and Computation Sheet for Toughness Test

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

14. Shear Parallel to Grain

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

14.2 *Size of Specimens*—The shear-parallel-to-grain tests shall be made on a 2 by 2 by 2-1/2 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 1/8 in. (3 mm) offset between the inner edge of the supporting surface and the plane of the adjacent edge of the loading surface. Apply the load to and support the

specimen on end-grain surfaces. 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).

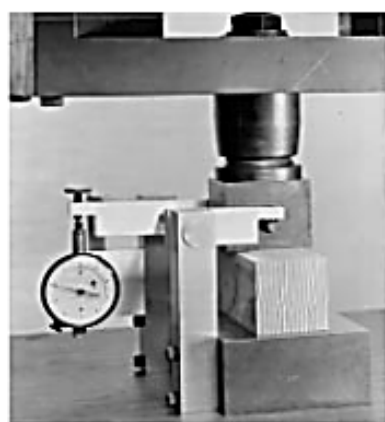


FIG. 17 Compression-Perpendicular-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application and Measurement of Deformation by Means of Averaging-Type Compressometer

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).

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. (1 mm)/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).

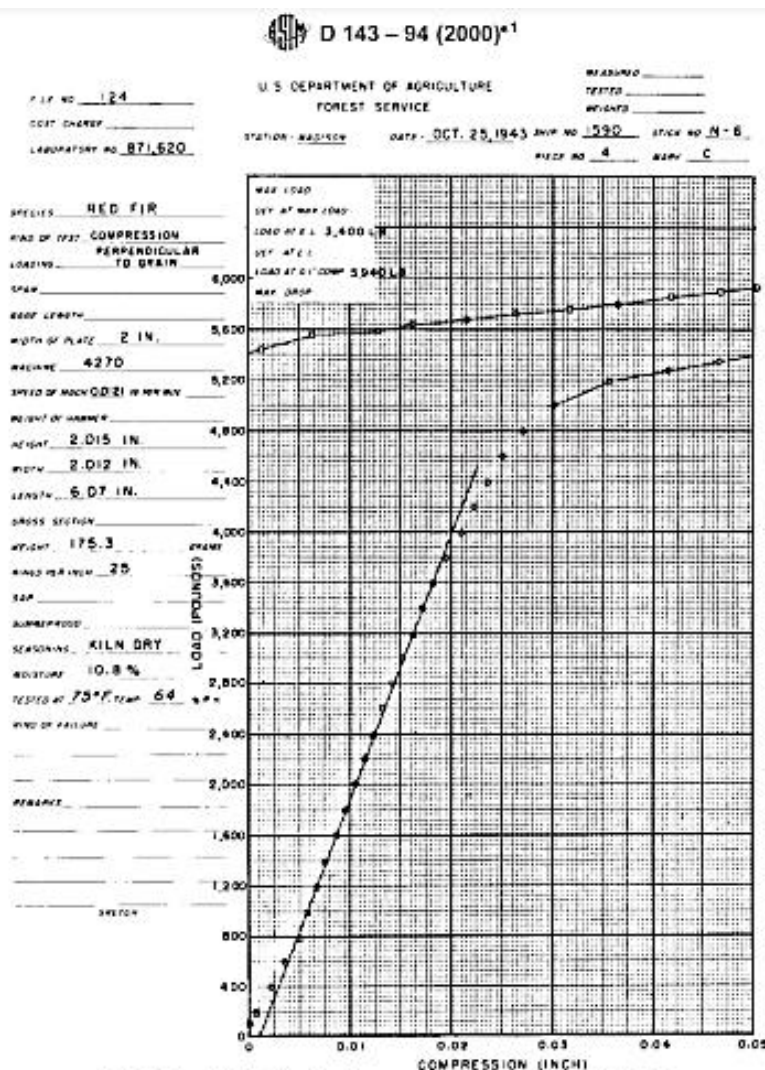


FIG. 18 Sample Data Sheet for Compression-Perpendicular-to-Grain Test

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).

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.

D 143 – 94 (2000)*¹

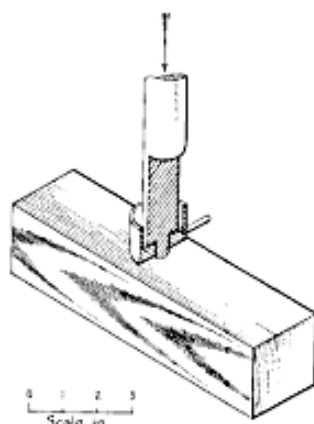


FIG. 19 Diagrammatic Sketch of Method of Conducting Hardness Test

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 conditions to a uniform moisture content of approximately 12 %. The specimens should then be weighed and the volume determined by the immersion method.

19.2.5 Then, open-pile the specimens used for specific gravity and shrinkage determinations at 12 % moisture content, or duplicate specimens on which green weight and volume measurements have been made prior to conditioning to approximately 12 % moisture content in an oven. Dry at $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 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.

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 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 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 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 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.

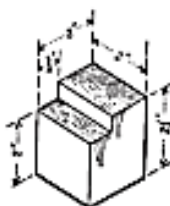
D 143 - 94 (2000)*¹

HARDNESS

STATION: MOBILE
 PROJECT: PACIFIC SILVER FIR
 SEASONING: GREEN
 MEASURED BY: _____
 COST CHANGE: 01-3-005
 MACHINE SPEED: 0.244
 WEIGHED BY: _____
 LABORATORY NO.: 288281A-2804
 MACHINE NO.: 4,271
 TESTED ON: _____
 DATE: JAN 31, 1995
 TEMPERATURE: 75 °F REL. HUMIDITY: 64 %

STICK NO	DIMENS (L X W X H) IN	WEIGHT GR	MOISTURE %	HARDNESS			REMARKS	SKETCH	
				RADIAL SURFACE LB	TANGENTIAL SURFACE LB	END SURFACE LB			
23-N-7-0	6.02x1.99x1.99	24.3	47.5	530	470	465			
				500	515	550			
				AVERAGE	515	492			458
				AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL	504				

FIG. 20 Sample Data and Computation Sheet for Hardness Test



Metric Equivalents			
in.	1/4	2	2 1/2
mm	20	50	63

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

25. Keywords

25.1 clear specimens; small clear specimens; timber; wood

ASTM D 143 – 94 (2000)*¹



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 - 94 (2000)*¹

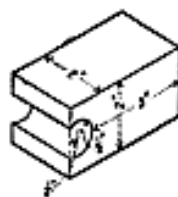
SHEAR

 姓名: _____

SPECIES PACIFIC SILVER PIN QUANTITY - WEIGHTS SHIPMENT NO. 1851
 PROJECT SLY 14 BREEDING GREEN MEASURED BY _____
 TOST CHARGE QV-3-005 MACHINE SPEED 0.0215 REISHED BY _____
 LABORATORY NO. 2670248-0998 MACHINE NO. 4.271 TESTED BY _____
 DATE JAN 16, 1951 TEMP. 73 REL. HUMIDITY 64

STICK NO.	SECTION SURFACE	MEASURING AREA L' x W'	MEASURING LENGTH L'	MEASURING PERIMETER P'	SECTION COEFFICIENT %	REMARKS	SKETCH
22-N-2-0	R.	2016 X 2.000	2770	587	40.1		 
22-N-6-0	F.	2020 X 1.398	2775	688	41.1		 
							 
							 
							 
							 
							 
							 
							 
							 

FIG. 23 Sample Data and Computation Sheet for Shear-Parallel-to-Grain Test



Metric Equivalents

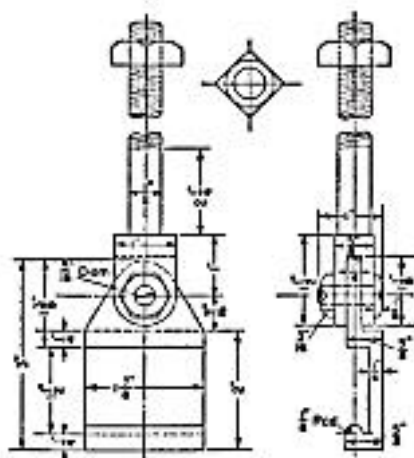
in.	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	2	3
mm	6	13	50	76

FIG. 24 Cleavage Test Specimen

ASTM D 143 - 94 (2000)*¹



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
¼	3	1½	35
⅜	4.8	1⅞	38
½	6	1⅞	48
⅝	8	2	50
⅞	13	2½	57
1	14	3	76
1¼	16	5½	140
1½	25	8	200
1⅞	28		

FIG. 26 Design Details of Grips for Cleavage Test

D 143 - 94 (2000)*¹

CLEAVAGE

4/24/1998 = 222,222

STATION - MOORE
SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1631

PROJECT SILVER SPECIES PACIFIC SILVER FISH SHIPMENT NO. 1,631
STATIONING GREEN MEASUREMENT

PROJECT 277.12 STATIONING GREEN WEASURE
COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.1110 m/second

LABORATORY NO. 287CMA-041A MACHINE NO. 4269 TESTED

DATE JAN. 17, 1951 TIME 10:00 TEMP. 50

1.651

RECEIVED BY _____

RENTED BY _____
RENTED BY _____

TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 64

[illegible]

FIG. 27 Sample Data and Computation Sheet for Cleavage Test

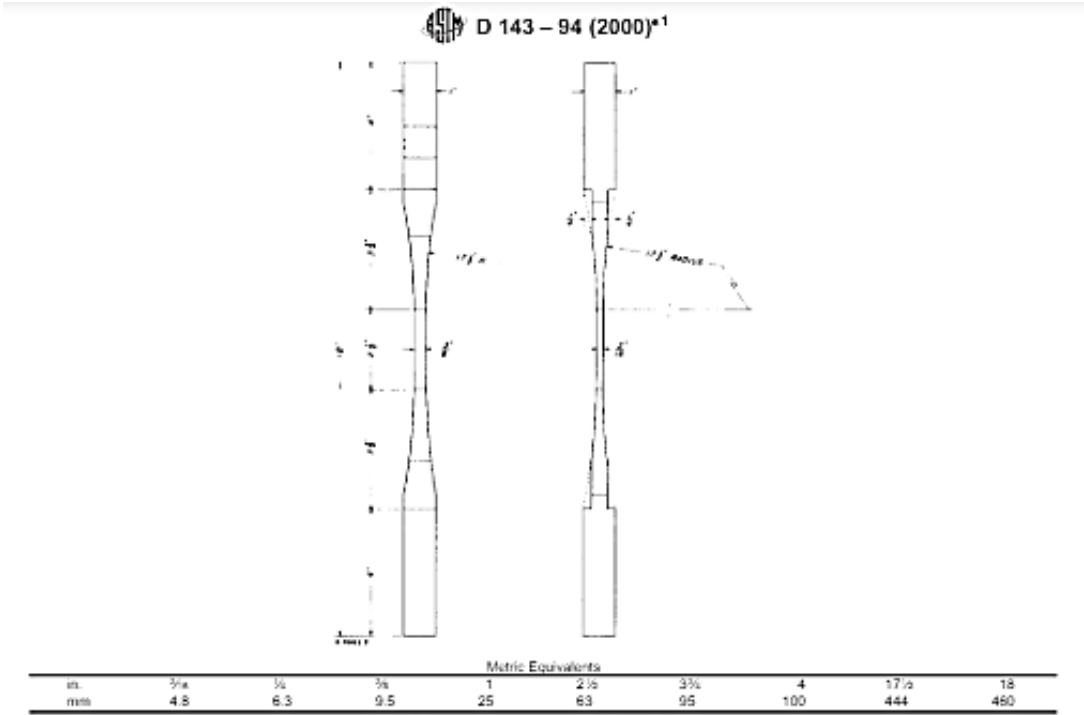


FIG. 28 Tension-Parallel-to-Grain Test Specimen

ASTM D 143 – 94 (2000)*¹



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

ASTM D 143-94 (2000)*1

FILE NO. 57-111
 TEST CHARGE 01-3-005
 LABORATORY NO. 266,895A

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 FOREST SERVICE

STATION MADISON

DATE DEC. 28, 1950

SPEC. NO. 1651

STICK NO. N-1

PIECE NO. 22

GRADE C

SPECIES PACIFIC SILVER FIR

KIND OF TEST TENSION PARALLEL

TO GRAIN

LOADING

SPAN 2 IN.

BASE LENGTH

WIDTH OF PLATE

MACHINE 4715

SPEED OF MACH 0.038 IN PER MIN

WEIGHT OF HAMMER

PERCENT

WIDTH

LENGTH

CROSS SECTION 0.187 X 0.379

WEIGHT

PLACES PER INCH

SAP

CHARACTER

SEASONING GREEN

MOISTURE

TESTED AT 75°F 64 W.P.H.

KIND OF FAILURE SPLINTERING

TENSION

REMARKS

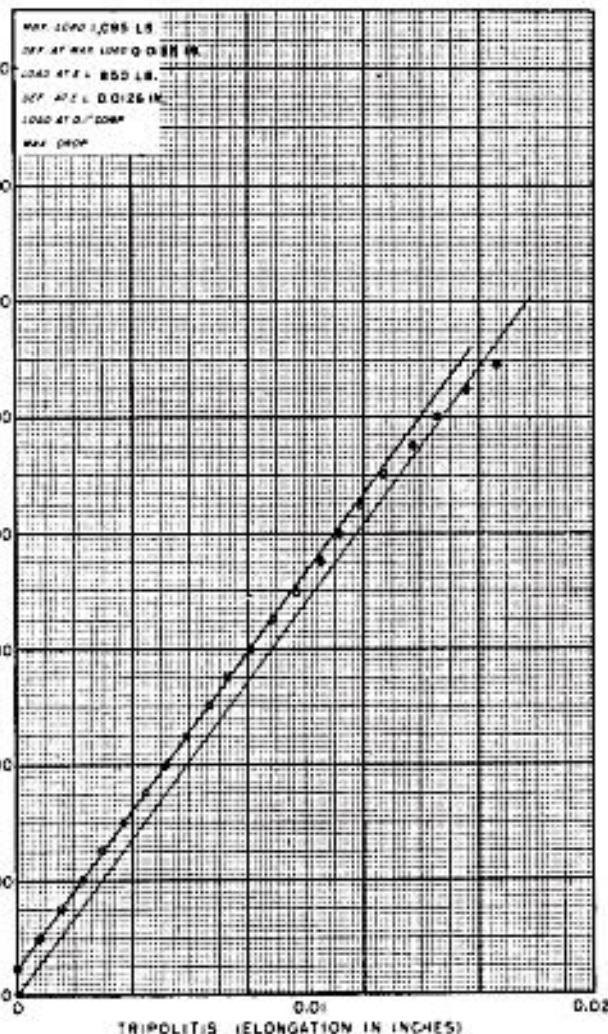
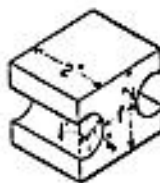


FIG. 30 Sample Data Sheet for Tension-Parallel-to-Grain Test



Metric Equivalents				
in	1/4	1/2	1	2
mm	6	13	25	50

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

Anexo “C”: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 896:2013



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 WOOD 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 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 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 <i>Peso antes del secado</i> 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 <i>Secado</i> 3.4.2.1 Una vez obtenida la masa de la pieza de ensayo introducirla en la estufa, donde se mantiene $103 \pm 2^\circ\text{C}$, 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 <i>Peso después del secado</i> (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 contenido 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	<i>Tableros de madera aglomerada, contrachapada y de fibra de madera (MDF). Determinación de las dimensiones de las probetas.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 900	<i>Tableros de madera contrachapada. Requisitos</i>

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, Código:	
NTE INEN 896	CONTRACHAPADA Y DE FIBRAS DE MADERA (MDF). AG: 08.01-302	
Segunda revisión	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	
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 Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como: Voluntaria
Registro Oficial No. 23 de 2013-06-26

Por Resolución No. 13229 de 2013-05-05

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E9-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (093 2) 2 501885 al 2 501891 - Fax: (093 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 Quito: E-Mail: inenquito@inen.gob.ec
Regional Azuay: E-Mail: inenazuay@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



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 cálculo, bien como recomendaciones del Manual de Diseño de la JUNAC, en particular en sus [capítulos 7 a 12](#).

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

5.1.2. Condiciones para madera estructural

La madera empleada en estructuras reunirá las siguientes condiciones:

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

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

5.1.3. Elementos estructurales

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

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

Se verificarán, según los elementos o sistemas:

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

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

5.1.4. Madera laminada

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

5.2. Cargas

Las estructuras de madera deben diseñarse para resistir:

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

El diseñador se referirá a la [NEC-SE-CG](#).

5.3. Clasificación estructural de las maderas

5.3.1. Clasificación por densidad básica

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

- "A": DB entre 0.71 y 0.90
- "B": DB entre 0.56 y 0.70
- "C": DB entre 0.40 y 0.55.

Respecto a estas clases, se definen las propiedades de resistencia y rigidez definidas más adelante.

5.3.2. Esfuerzos admisibles

Para el diseño estructural deberá usarse los esfuerzos admisibles que consta el Manual de Diseño de la JUNAC. Son consecuencia de un proceso de ensayos con maderas de la Subregión. Los valores indicados están respaldados por un número grande de repeticiones.

Debe tenerse presente que los valores referidos son válidos para madera ESTRUCTURAL, que cumple en su totalidad con la Norma de Clasificación Visual, que se encuentra en el [capítulo 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 mayor tamaño)
- FDC: Factor de duración de carga (permite tomar en cuenta que los esfuerzos de rotura de la madera disminuyen con la duración de aplicación de la carga)

Estos factores varían según el tipo de sollicitación. Se determinarán 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 [capítulo 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

Anexo “E”: Cálculo típico de las propiedades mecánicas de la madera de canelo

1. Ejemplo – Flexión perpendicular a la fibra:

Datos:

$$P_{m\grave{a}x} = 2530.09 \text{ N}$$

$$P' = 1486.82 \text{ N}$$

$$\Delta = 4.65 \text{ mm}$$

$$l = 360 \text{ mm}$$

$$b = 25 \text{ mm}$$

$$d = 25 \text{ mm}$$

- *Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional*

$$S' = \frac{3 \times P' \times l}{2 \times b \times d^2}$$

$$S' = \frac{3 \times 1486.82 \text{ N} \times 360 \text{ mm}}{2 \times 25 \text{ mm} \times (25 \text{ mm})^2}$$

$$S' = 51.38 \text{ MPa}$$

- *Módulo de ruptura o esfuerzo máximo*

$$SR = \frac{3 \times P_{m\grave{a}x} \times l}{2 \times b \times d^2}$$

$$SR = \frac{3 \times 2530.09 \text{ N} \times 360 \text{ mm}}{2 \times 25 \text{ mm} \times (25 \text{ mm})^2}$$

$$SR = 87.44 \text{ MPa}$$

- *Módulo de elasticidad aparente*

$$E_{app} = \frac{P' \times l^3}{4 \times b \times d^3 \times \Delta}$$

$$E_{app} = \frac{1486.82 \text{ N} \times (360 \text{ mm})^3}{4 \times 25 \text{ mm} \times (25 \text{ mm})^3 \times 4.65 \text{ mm}}$$

$$E_{app} = 9547.57 \text{ MPa}$$

- *Esfuerzo admisible*

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

$$E_{adm} = \frac{0.80 \times 0.90}{2.00 \times 1.15} \times 87.44 \text{ MPa}$$

$$E_{adm} = 27.37 \text{ MPa}$$

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

2. Ejemplo – Tracción paralela a la fibra:

Datos:

$$P_{m\grave{a}x} = P' = 4723.55 \text{ N}$$

$$A = 9.00 \text{ mm} * 4.50 \text{ mm} = 40.50 \text{ mm}^2$$

$$\varepsilon = 0.00936 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

En la madera, tanto la resistencia a tracción como la tensión que se genera en el límite proporcional serán iguales, debido a que cuando la madera se somete a esfuerzos de tracción en sentido paralela a la fibra, el esfuerzo máximo se genera al llegar al límite proporcional, es decir la rotura se produce al alcanzar dicho límite.

- *Resistencia a la tracción*

$$\sigma_t = \frac{P_{m\grave{a}x}}{A}$$

$$\sigma_t = \frac{4723.55 \text{ N}}{40.50 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_t = 116.63 \text{ MPa}$$

- *Tensión en el límite proporcional*

$$\sigma'_t = \frac{P'}{A}$$

$$\sigma'_t = \frac{4723.55 \text{ N}}{40.50 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma'_t = 116.63 \text{ MPa}$$

- *Módulo de elasticidad*

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

$$E_{axial} = \frac{116.63 \text{ MPa}}{0.00936 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}}$$

$$E_{axial} = 12460.56 \text{ MPa}$$

- *Esfuerzo admisible*

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

$$E_{adm} = \frac{116.63 \text{ MPa}}{2.10}$$

$$E_{adm} = 55.54 \text{ MPa}$$

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