



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE PINO (PINUS PATULA SCHLTDL. & CHAM), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)”

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

ESTUDIANTE:

PATRICIO ORLANDO TOAQUIZA CHIGUANO

TUTOR:

ING. MARITZA ELIZABETH UREÑA AGUIRRE, MSc

Ambato – Ecuador

Febrero – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE PINO (PINUS PATULA SCHLTDL. & CHAM), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)”**, elaborado por el estudiante Patricio Orlando Toaquiza Chiguano, portador de la cédula de ciudadanía número 05033747612, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, febrero 2025



.....

Ing. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre, MSc.

TUTOR

AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Patricio Orlando Toaquiza Chiguano, con C.I. 0503374761 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS DE LA PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE PINO (PINUS PATULA SCHLTDL. & CHAM), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI 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 exclusividad responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2025



Patricio Orlando Toaquiza Chiguano

C.I. 0503374761

AUTOR

DERECHOS DEL AUTOR

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

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

Ambato, febrero 2025



.....
Toaquiza Chiguano Patricio Orlando

C.I. 0503374761

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante Patricio Orlando Toaquiza Chiguano, de la carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE PINO (PINUS SCHLTDL. & CHAM), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)”**.

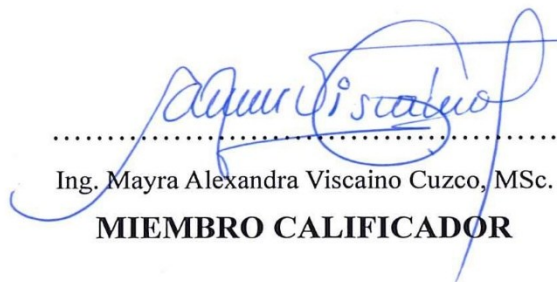
Ambato, febrero 2025

Para constancia firma:



Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, MSc.

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mayra Alexandra Viscaino Cuzco, MSc.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis padres y mi pareja, quienes sacrificaron mucho para que yo pudiera estudiar. Recuerdo las noches que me ayudaban a entender los conceptos más difíciles. Gracias por creer en mí y por enseñarme que con esfuerzo todo es posible.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi tutor, Ing. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre, MSc por su guía y paciencia. A mi familia, por su apoyo incondicional, y a la Universidad técnica de Ambato por brindar las facilidades necesarias para llevar a cabo este trabajo experimental.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DEL AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	xv
RESUMEN EJECUTIVO	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
I. JUSTIFICACIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	2
III. OBJETIVOS.....	6
A. OBJETIVO GENERAL	6
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....	7
I. EQUIPOS Y MATERIALES.....	7
II. MÉTODOS.....	16
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	47
II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	84
A. HIPÓTESIS.....	84
B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	84
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
A. CONCLUSIONES	85

B. RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	88
Anexos.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Plantación de pino.....	8
Fig. 2. Árbol de pino.	8
Fig. 3. Elaboración de probetas.	10
Fig. 4. Probetas a Tracción paralela a la fibra.	10
Fig. 5. Probetas a Compresión paralela a la fibra.....	11
Fig. 6. Probetas a flexión perpendicular a la fibra.	11
Fig. 7. Muestra de prueba de tracción paralela a la fibra [2].....	13
Fig. 8. Especímenes de madera verde.	13
Fig. 9. Especímenes para densidad seca al aire, a una temperatura 23°C.....	14
Fig. 10. Ensayo a tracción paralela a la fibra.	14
Fig. 11. Ensayo a compresión paralela a la fibra.....	15
Fig. 12. Ensayo a flexión perpendicular a la fibra.	15
Fig. 13. Lugar donde se extrajo la madera de pino.	16
Fig. 14. Especímenes de madera verde.	17
Fig. 15. Especímenes de madera seca (compresión).	18
Fig. 16. Especímenes de madera seca (flexión).	18
Fig. 17. Moldes en triplex.	19
Fig. 18. Alineación sobre los especímenes.....	20
Fig. 19. Ranuras en los especímenes.....	20
Fig. 20. Lijado de los especímenes.	21
Fig. 21. Alineación de tabloncillo.	22
Fig. 22. Flejes para las probetas de compresión paralela a la fibra.....	23
Fig. 23. Medidas estándar.....	23
Fig. 24. Probetas de compresión normalizada.....	24
Fig. 25. Cepillado de tabloncillos.....	25
Fig. 26. Cortes en flejes.....	26
Fig. 27. Dimensiones normalizadas flexión.	26
Fig. 28. Probetas de flexión.....	27
Fig. 29. Balanza electrónica con sensibilidad de 0.01 g.	28
Fig. 30. Peso de especímenes húmedo.	29
Fig. 31. Especímenes en el horno eléctrico a temperatura 103 ± 2 °C.....	29
Fig. 32. Registro de peso anhidro.....	30
Fig. 33. Especímenes de compresión.	31
Fig. 34. Especímenes de flexión.....	31
Fig. 35. Peso de espécimen seca al aire (compresión).	32
Fig. 36. Peso de especímenes seca al aire (flexión).	32
Fig. 37. Calibración de máquina.	33
Fig. 38. Colocación de mordazas.	34
Fig. 39. Selección de ensayo.	34

Fig. 40. Colocación de probeta.....	35
Fig. 41. Colocación de probetas.	35
Fig. 42. Inicio de ensayo.	36
Fig. 43. Datos obtenidos.....	36
Fig. 44. Tipos de fallas en tracción paralela a la fibra [27].	37
Fig. 45. Calibración de máquina.	37
Fig. 46. Alineación de mordazas.	38
Fig. 47. Introducción de variables normadas.	38
Fig. 48. Registro de fuerza y desplazamiento.	39
Fig. 49. Datos obtenidos.....	39
Fig. 50. Tipos de fallas en compresión paralela [2].	40
Fig. 51. Calibración de máquina.	41
Fig. 52. Fijación de apoyos.	41
Fig. 53. Selección del tipo del ensayo.	42
Fig. 54. Selección del tipo de ensayo.	42
Fig. 55. Probetas fijadas.	43
Fig. 56. Centrado de carga en probetas.	43
Fig. 57. Registro de fuerza y desplazamiento.	44
Fig. 58. Datos generados.	44
Fig. 59. Tipos de fallas en flexión estática [2].	45
Fig. 60. Mapa climático de la provincia de Cotopaxi [28].....	51
Fig. 61. Contenido de humedad madera verde (promedio).....	51
Fig. 62. Densidades de la madera de pino seco y verde.....	56
Fig. 63. Esfuerzo vs. Deformación unitaria de la probeta "T-3"	60
Fig. 64. Esfuerzo vs. Deformación unitaria de la probeta "T-5"	60
Fig. 65. Esfuerzo vs. Deformación unitaria de la probeta "C-2"	66
Fig. 66. Esfuerzo vs. Deformación unitaria de la probeta "C-4"	67
Fig. 67. Carga vs. Deflexión de la probeta "F-1"	73
Fig. 68. Carga vs. Deflexión de la probeta "F-3"	73
Fig. 69. Comparación de MOE (NEC 2015 vs. ensayo de Tracción).	77
Fig. 70. Comparación de Esfuerzo admisible (NEC 2015 vs. ensayo de Tracción).	77
Fig. 71. Comparación de MOE (NEC 2015 vs. ensayo de Compresión).....	79
Fig. 72. Comparación de Esfuerzo admisible (NEC 2015 vs. ensayo de Compresión).....	79
Fig. 73. Comparación de MOE (NEC 2015 vs. ensayo de Flexión).	81
Fig. 74. Comparación de Esfuerzo admisible (NEC 2015 vs. ensayo de Flexión).	82

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. NÚMERO DE PROBETAS A TRACCIÓN PARALELA, COMPRESIÓN PARALELA Y FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA [2].....	9
TABLA II. ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA DE LA MADERA SEGÚN LA NORMA ASTM D 143-94 [2].	12
TABLA III. ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA DE LA MADERA SEGÚN LA NORMA ASTM D 143-94 [2].	12
TABLA IV. IDENTIFICACIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	21
TABLA V. IDENTIFICACIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA	24
TABLA VI. IDENTIFICACIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO DE FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA.....	27
TABLA VII. COORDENADAS GEOGRÁFICAS UTM DE PUNTO DE RECOLECCIÓN DE LOS ESPECÍMENES (PINUS PATULA SCHLTDL. & CHAM). GEORREFERENCIACIÓN, COORDENADAS, LUGAR DE EXTRACCIÓN.....	47
TABLA VIII. ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	48
TABLA IX. ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA	48
TABLA X. ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA	49
TABLA XI. CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE LA MADERA DE PINO PROVENIENTE DE LA PARROQUIA ZUMBAHUA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI	50
TABLA XII. RADIO, ALTURA Y VOLUMEN (INICIAL Y FINAL) DE LA MADERA VERDE PINO.....	53
TABLA XIII. DENSIDAD BÁSICA	53
TABLA XIV. DENSIDAD SECA AL AIRE DE LA MADERA DE PINO, ESPECÍMENES DE COMPRESIÓN	55
TABLA XV. DENSIDAD SECA AL AIRE DE LA MADERA DE PINO, ESPECÍMENES DE FLEXIÓN.....	55
TABLA XVI. RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE PINO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI	59
TABLA XVII. MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA MADERA (MPa) [1].	61
TABLA XVIII. ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa) [1].....	62
TABLA XIX. RELACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD VS. CONTENIDO DE HUMEDAD	62
TABLA XX. TIPOS DE FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE PINO POR EL ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.....	63

TABLA XXI. RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE PINO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.....	66
TABLA XXII. RELACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD VS. CONTENIDO DE HUMEDAD	68
TABLA XXIII. TIPOS DE FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE PINO POR EL ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA.	69
TABLA XXIV. ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, MÓDULO DE RUPTURA O ESFUERZO MÁXIMO, MÓDULO DE ELASTICIDAD APARENTE, ESFUERZO ADMISIBLE	72
TABLA XXV. RELACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD VS. CONTENIDO DE HUMEDAD	74
TABLA XXVI. TIPOS DE FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE PINO POR EL ENSAYO A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA.....	75
TABLA XXVII. MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE PROMEDIO DE LA MADERA DE PINO SOMETIDA A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.	76
TABLA XXVIII. COMPARATIVA DE MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE PINO RADIATA (PERÚ) VS PINUS PATULA (ECUADOR).	78
TABLA XXIX. MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE PROMEDIO DE LA MADERA DE PINO SOMETIDA A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA.....	78
TABLA XXX. COMPARATIVA DE MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE PINO RADIATA (PERÚ) VS PINUS PATULA (ECUADOR).	80
TABLA XXXI. MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO ADMISIBLE PROMEDIO DE LA MADERA DE PINO SOMETIDA A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA.	80
TABLA XXXII. COMPARATIVA DE MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE PINO RADIATA (PERÚ) VS PINUS PATULA (ECUADOR).	82

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Sitio de extracción de planta de pino	92
Anexo 2. Ensayo de contenido de humedad (CH%)	93
Anexo 3. Especímenes de densidad seca al aire.....	96
Anexo 4. Especímenes de ensayo a tracción paralela a la fibra.	98
Anexo 5. Especímenes de ensayo a compresión paralela a la fibra.	102
Anexo 6. Especímenes de ensayo a flexión perpendicular a la fibra.	103
Anexo 7. Norma NTE INEN 896-2013 y (ASTM-D4442-20).	105
Anexo 8. Norma Internacional ASTM D 143-94.....	113
Anexo 9. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015).	136
Anexo 10. Lugar de extracción de la madera de pino.	141

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
CO ₂	Dióxido de Carbono
et al	Y otros
Gt de Co ₂	Millones de toneladas de dióxido de carbono
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
TSFA	Post-Doctoral Associate
xlam	Capas transversales encoladas entre sí
°C	Grados centígrados
NTE	Norma Técnica
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
g	Gramos
MPa	Mega Pascales
mm	Milímetros
M _{sec}	Masa seca
cm ³	Centímetro cúbico
ρ	Densidad
V	Volumen
AGS-X	Serie de máquinas de prueba de carga
kN	Kilonewton
CSV	"Comma Separated Values"
XLSX	Extensión y formato utilizado por Excel
START	Empezar

cm	Centímetros
min	Minutos
&	y
m	metros
UTM	Universal Transversal de Mercator
17M	Escala topográfica
CH	Contenido de humedad
P_h	Peso húmedo
P_{anh}	Peso anhidro
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
ρ_b	Densidad básica
r	Radio
h	Altura
$\rho_{seca\ al\ aire}$	Densidad seca al aire
$P_{estado\ seco\ al\ aire}$	Peso de los especímenes en estado seco al aire
$V_{estado\ seco\ al\ aire}$	Volumen de los especímenes en estado seco al aire
b	Ancho
d	Alto
L	Largo
σ_T	Resistencia a tracción
$P_{m\acute{a}x}$	Carga máxima
A	Área
ϵ	Deformación unitaria

D_{axial}	Deformación axial
L_{ef}	Longitud de la sección efectiva
E	Módulo de elasticidad
σ_{adm}	Esfuerzo admisible
$F.C$	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
$\sigma_{últ}$	Esfuerzo último
N	Newton
$E_{mín}$	Módulo de elasticidad mínimo
$E_{promedio}$	Módulo de elasticidad promedio
ID	Identidad
σ_c	Resistencia a compresión
MOE	Módulo de elasticidad
σ_{lp}	Esfuerzo al límite proporcional elástico
P'	Carga en el límite proporcional
$\delta_{máx}$	Deflexión en carga máxima
NEC-SE-MD	Norma Ecuatoriana de la Construcción para Estructuras de Madera

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente estudio, analizan las propiedades mecánicas de la madera de pino (*Pinus patula* Schltdl. & Cham) de la provincia de Cotopaxi, Ecuador, evaluando su viabilidad como material estructural de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015). Además de aportar datos técnicos, se busca promover el uso de materiales locales sostenibles en la construcción, para que la madera de pino de esta región pueda ser empleado como material estructural en construcciones livianas y sostenibles, destacándose como una alternativa económica y ecológica frente a materiales tradicionales.

En cuanto a la metodología, se estructuró en cuatro fases claramente definidas. Inicialmente, se realizó la extracción de muestras de la zona mencionada. Posteriormente, se procedió a la preparación de probetas siguiendo estrictamente las directrices de la norma ASTM D 143-94, lo que garantizó la estandarización de los ensayos. En esta fase, se efectuaron análisis de propiedades físicas (contenido de humedad y densidad seca al aire) y finalmente, se llevaron a cabo ensayos mecánicos (tracción, compresión y flexión) en laboratorios especializados, con el propósito de obtener datos precisos y reproducibles. Adicionalmente, los resultados se compararon con los requisitos mínimos exigidos por la NEC 2015, asegurando un enfoque integral y riguroso en la evaluación.

De esta manera, los resultados clasifican a la madera de pino como estructural de baja resistencia. Las densidades básicas y secas del aire fueron de 0,44 g/cm³ y 0,57 g/cm³, respectivamente. De manera que, en tracción, el módulo de elasticidad (MOE) alcanzó 12845.72 MPa, y el esfuerzo admisible 11.9 MPa. En compresión, el MOE fue de 1834.8 MPa y el esfuerzo admisible de 13.7 MPa. En flexión, se registraron un MOE de 5519.60 MPa y un esfuerzo admisible de 11.81 MPa. Por esta razón, estos valores la ubican en los grupos “B” y “C” según la NEC 2015, destacando su potencial para aplicaciones específicas dentro del ámbito constructivo.

Palabras clave: madera de pino, *Pinus patula*, propiedades mecánicas, material estructural, NEC 2015, construcción.

ABSTRACT

This study analyzes the mechanical properties of pine wood (*Pinus patula Schltdl. & Cham*) from the province of Cotopaxi, Ecuador, evaluating its viability as a structural material according to the Ecuadorian Construction Standard (NEC 2015). In addition to providing technical data, the aim is to promote the use of sustainable local materials in construction, so that pine wood from this region can be used as a structural material in light and sustainable constructions, standing out as an economical and ecological alternative to traditional materials.

The methodology was structured in four clearly defined phases. Initially, the extraction of samples from the mentioned area was carried out. Subsequently, specimens were prepared strictly following the guidelines of ASTM D 143-94, which guaranteed the standardization of the tests. Finally, mechanical tests (tensile, compression and flexural) were carried out in specialized laboratories in order to obtain accurate and reproducible data. Additionally, the results were compared with the minimum requirements demanded by the NEC 2015, ensuring a comprehensive and rigorous approach in the evaluation.

Thus, the results classify pine wood as low-strength structural. The basic and dry densities of air were 0.44 g/cm³ and 0.57 g/cm³, respectively. Thus, in tension, the modulus of elasticity (MOE) reached 12845.72 MPa, and the allowable stress 11.9 MPa. In compression, the MOE was 1834.8 MPa and the allowable stress was 13.7 MPa. In flexure, the MOE was 5519.60 MPa and the allowable stress was 11.81 MPa. For this reason, these values place it in groups “B” and “C” according to the NEC 2015, highlighting its potential for specific applications within the construction field.

Keywords: pine wood, *Pinus patula*, mechanical properties, structural material, NEC 2015, construction.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

En Ecuador, la madera como material estructural está subutilizada frente a opciones como el acero y el hormigón. Esto se debe, en gran medida, a la escasez de estudios que detallen las propiedades físicas y mecánicas de las especies locales, así como a la limitada información que existe, los proveedores y constructores con madera deben considerar como elementos vinculantes de esta norma, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015) [1].

El presente trabajo experimental es relevante y factible, dado que la madera de pino es abundante en la provincia de Cotopaxi y posee características mecánicas con gran potencial estructural.

En el ámbito teórico, el trabajo contribuirá a llenar una brecha significativa en la literatura relacionada con el comportamiento estructural de la madera de pino ecuatoriano. Actualmente, existen pocos estudios que analicen sus propiedades mecánicas de acuerdo con normas internacionales como la ASTM D 143-94 [2]. Los resultados permitirán clasificar científicamente esta especie como material estructural, promoviendo su uso en construcción sostenible y ampliando las opciones de materiales en el país.

Desde un punto de vista práctico, este trabajo permitirá determinar si la madera de pino de la provincia de Cotopaxi cumple los requisitos especificados de la NEC 2015, brindando a constructores y diseñadores una alternativa económica y ecológica. Esto fomentará la valorización de un recurso local, e impulsará la creación de normativas específicas para la madera ecuatoriana y promoverá su producción y uso sostenible.

La investigación beneficiará a productores, ingenieros, arquitectos y constructores, al proporcionarles datos confiables sobre las propiedades estructurales de esta madera, facilitando decisiones informadas sobre su uso. Además, promoverá un enfoque constructivo más ecológico contribuyendo a reducir el uso de materiales no renovables y fortaleciendo la sostenibilidad en el sector.

En síntesis, esta investigación busca no solo aportar nuevos conocimientos científicos sobre la madera de pino de Cotopaxi, sino también ofrecer soluciones prácticas que incentiven su aplicación en la construcción ecuatoriana, apoyando así el desarrollo sostenible del país.

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La industria de la construcción es uno de los sectores que más consumen energía y recursos naturales a nivel mundial, así como uno de los principales emisores de contaminantes al aire, el suelo y el agua. En el futuro el aumento de la población causará una mayor demanda en la construcción de edificios residenciales y comerciales, se estima que en los próximos 40 años la construcción producirá aproximadamente Gt de CO₂ a nivel mundial [3].

El uso de la madera como material estructural es una opción para reducir la contaminación ya que produce menos emisiones de CO₂ en todas las etapas de producción y construcción. En el estudio realizado “Comparación del impacto del ciclo de la vida de la madera maciza y el hormigón en la construcción de edificios” donde concluyó que los edificios a base de materiales de hormigón tienen un potencial de calentamiento global y acidificación mayor al 200% y 50% respectivamente en relación con los construidos a base de madera, así lo demostró Mofolasayo A [4].

La madera ha sido utilizada en esta industria desde hace miles de años a pesar de la complejidad de sus propiedades, el porcentaje de uso de la madera como material de construcción varía mucho dependiendo el país siendo Finlandia uno de los primeros en buscar para el año 2035 la neutralidad del carbono, mientras que en América latina el principal país en buscar la neutralidad del carbono es Chile proponiendo alcanzarlo para el 2050 [5].

En porcentajes la implementación de la madera como elemento estructural a nivel mundial tiene los siguientes datos: en la Unión Europea un promedio del 10% de las viviendas cuentan con elementos estructurales de madera siendo Finlandia el mayor ya que el 85% de las viviendas son construidas de madera; En América los principales países en utilizar este elemento son Canadá y Estados Unidos con alrededor del 90% de viviendas construidas de madera [6].

Entre las estructuras más emblemáticas en la historia construida con madera se tiene el templo budista de Horyuji el cual es el templo más antiguo construido de ciprés cuenta con una altura total de 32.55 m sus elementos estructurales principales están hechos de madera [7]. El Metropol Parasol ubicado en Sevilla construido en el 2011 el cual es una estructura ligera en forma de hongo completamente de madera de abedul la cual alberga una plaza multifuncional pública [8]. Y el templo de Fogong ubicado en la ciudad de Shuzhou provincia de Shanxi cuya construcción inició en 1056 d. C. y culminó en 1195 d. C. tiene una altura de 67.31 m construido en totalidad con

madera de pino rojo (*Pinus sylvestris*) para lo cual se necesitó 3000 m³ de madera, aproximadamente 2600 toneladas, esta estructura fue construida sin clavos ni remache únicamente fueron utilizadas de uniones tradicionales chinas conformadas por llaves y clavijas de madera para el ensamblaje [9].

Entre la gran variedad de especies de madera que existen alrededor del mundo se pueden distinguir 3 principales: las maderas frondosas las cuales son utilizadas únicamente para ebanistería, las maderas coníferas las cuales son principalmente utilizadas en Europa para el sector de la construcción entre éstas se pueden destacar al alerce; el abeto; el cedro rojo y el pino, finalmente el grupo denominado maderas exóticas las cuales son propias de los bosques ecuatoriales y tropicales entre las que destacan la caoba, la teca y el ébano además estas últimas son las especies de madera más utilizadas en todo el mundo [10].

En el Ecuador existen un sinnúmero de especies de madera tales como bálsamo, roble, cedro, nogal, guayacán, Canelo, ciprés y pino entre otras las cuales cumplen con las características técnicas necesarias para ser utilizadas como elementos estructurales en la construcción [11]. El *Pinus patula* Schl. Et Cham es una de las especies que se puede encontrar en el país, este árbol puede alcanzar entre 20 a 40 m de longitud y hasta 150 cm de diámetro principalmente pueden crecer en zonas con una altitud de 1400 a 3200 msnm el nivel del mar, con temperaturas promedio de 15 °C y en suelos profundos y húmedos [12].

Dado que la madera tanto desde el punto de vista estructural y ecológico pueden competir ampliamente con los demás materiales de construcción se han realizado diversas investigaciones a nivel mundial acerca de las propiedades mecánicas que esta puede ofrecer. Tal es el caso de China donde en 2020, como sostienen Xiaofang *et al.* [13] en su estudio “Nuevos compuestos de madera y bambú diseñados para aplicaciones estructurales: estado del arte en tecnología de fabricación y evaluación del desempeño mecánico” al comparar las propiedades mecánicas de varios tipos de madera concluyeron que el Scrimber de madera con mayor densidad pueden mejorar las propiedades mecánicas en comparación con la madera laminada encolada especialmente en la resistencia a flexión y la resistencia a compresión paralela a la fibra dando valores 3,5 veces mayores los resultados de la madera laminada encolada.

En el año 2017, En Estados Unidos, TSFA. Franca *et al.* [14] investigaron las características

mecánicas de la madera de pino del sur, una de las especies más importantes para la construcción. Se tomaron muestras de 15 regiones del sur de Estados Unidos y se realizaron ensayos de flexión, contenido de humedad, gravedad específica y presencia de médula. Los resultados superaron los obtenidos en estudios anteriores sobre esta especie de pino, por lo cual se recomienda su uso amplio para estructuras.

En un trabajo de tesis de maestría publicado en 2018-2019 en Italia, A. Storoni [15] comparó estructuras de madera contra laminada (xlam) como hormigón, destacando que los paneles de madera maciza ofrecen mayor resistencia sísmica. Aunque el costo inicial de las estructuras xlam es 5% mayor que el de hormigón, presentan ventajas como menor tiempo de ejecución, facilidad de desmontaje y reutilización. A pesar de estos beneficios, desde autoridades locales invierten menos en estos sistemas constructivos.

En 2019, en una tesis de maestría publicado por H. Oqba *et al.* [16] realizaron un estudio con la finalidad de analizar la resistencia a flexión de vigas de madera de pino, para lo cual se elaboraron vigas laminadas de 90 cm de longitud 4 cm de ancho y 6 cm de alto. Se obtuvo que la madera de pino se puede clasificar como comercialmente seca en relación con su nivel de humedad, la madera de pino laminada encolada son menos rígidas que las maderas comerciales pero su resistencia a flexión es mayor obteniendo 63,9 MPa en otras maderas comerciales y la viga elaborada con madera de pino laminada tuvo 72,9 MPa.

En España año 2019 A. Kaiser [17] realizó una investigación acerca de la construcción con madera en este país dando como resultado que la especie más utilizada en este país para edificaciones son las diferentes especies de pino como lo son el pino silvestre, el pino radiata, pino pinaster y pino laricio siendo los paneles de madera contra laminada el producto más utilizado para fines estructurales, para muros de carga, forjados y cubiertas, sin embargo en este país no existen muchos edificios contruidos con este material contabilizándose tan solo 9 proyectos desde el 2011.

En Canadá, la madera laminada cruzada es una de las formas más comunes de construcción, principalmente con especies de pino y abeto. En el trabajo publicado el año 2019 por G. Ruan *et al.* [18], se analizaron las propiedades mecánicas de flexión y compresión en paneles de madera cruzada elaborada con cicuta canadiense, una madera blanda de la familia de los pinos. Se concluyó que la cicuta muestra excelente resistencia a flexión, rigidez y ductilidad, recomendando en las

uniones de los bordes.

En el año 2019 en Centroamérica, se han realizado estudios sobre las propiedades mecánicas de la madera utilizada en construcción. J. Rosal [19] en Guatemala investigó el Pino Oocarpa del sudeste del país. Se realizaron ensayos de compresión y tensión paralela a la fibra, corte perpendicular a la fibra y flexión según la norma ASTM D 143. Se concluyó que esta madera tiene una alta resistencia y puede ser utilizada en perfiles de viga tipo I de hasta 6 metros de luz, soportando cargas distribuidas significativas.

En una publicación realizada en el año 2019 por R. Portillo *et al.* [20] estudiaron las propiedades físico-mecánicas del “Pino romerón” de 22 años en dos sistemas de plantación en Antioquia. Realizaron ensayos de humedad, densidad, flexión, dureza, cizalladura y compresión. Los resultados mostraron diferencias entre los sistemas de flexión, cizalladura y compresión paralela, y concluyeron que el pino de esta región, clasificado como madera blanda según la Norma Técnica Colombiana, es adecuado solo para carpintería, mueblería y revestimientos interiores.

En Nigeria y como un estudio publicado en 2020 por N. Ede *et al.* [21] demostró que diversas especies de madera son aptas para elementos estructurales, basándose en ensayos de compresión axial, flexión, corte, contenido de humedad y densidad según normas de Nigeria, Reino Unido y Europa. Sin embargo, su uso en construcción no es generalizado debido a la falta de estudios profundos sobre cada especie.

En el año 2020, En Colombia, J. Céspedes *et al.* [22] caracterizaron las propiedades de maderas como acacia, eucalipto y pino caribe, realizando ensayos de dureza, compresión, flexión y cizallamiento. Concluyeron que el pino caribe es el más adecuado para uso estructural, debido a su estabilidad dimensional, alta resistencia a la compresión paralela y perpendicular a la fibra, y superior desempeño en el ensayo de cizallamiento, recomendado para vigas, escaleras y techos.

En Perú, E. Calderón [23] llevó a cabo en 2022 un estudio para determinar las propiedades del pino radiata d plantaciones n mediante ensayos de flexión densidad y módulo de elasticidad; se realizaron 50 ensayos, obteniéndose una densidad promedio de 0,42 g/cm³, resistencia a flexión de 10,60 MPa y módulo de elasticidad de 11366, 34 MPa. Estos valores, comparados con la norma E010 de Perú, permitieron concluir que la madera de pino radiata se clasifica como material estructural de baja resistencia, adecuado para aplicaciones limitadas en la construcción.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Analizar las propiedades mecánicas de la madera de pino (*pinus patula schltl. & cham*), provenientes de la Provincia de Cotopaxi y su factibilidad como material estructural de acuerdo con la norma ecuatoriana de la construcción 2015 (NEC 2015).

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Elaborar probetas de pino por cada ensayo de acuerdo a la norma ASTM D 143-94 (American Society For testing Materials).
- 2) Determinar las propiedades físicas de la madera: contenido de humedad y densidad seca al aire, y las propiedades mecánicas como: resistencia a la tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra, y flexión perpendicular a la fibra.
- 3) Comparar las propiedades mecánicas obtenidas con los requisitos especificados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015), así determinar la viabilidad y adecuación de la madera de pino como material estructural.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

En este trabajo experimental, se desarrolló en 4 fases claramente definidas, diseñadas de manera estratégica para cumplir con los objetivos específicos establecidos y garantizar un enfoque metodológico riguroso que permitiera alcanzar los resultados previstos de forma eficiente.

Inicialmente, se realizó una fase preliminar que consistió en identificar el sitio de plantación de pino y se obtuvo la madera seca al aire en la parroquia rural de Zumbahua, ubicada en la provincia de Cotopaxi.

Una vez finalizada la fase preliminar, se procedió a la obtención de tablones de madera de pino en el lugar mencionado anteriormente. Con esto, se dio inicio a la fase 1, en la que se elaboraron probetas de pino por cada ensayo de acuerdo a la norma ASTM D 143-94 (American Society For testing Materials). En la fase 2, se determinaron las propiedades físicas de la madera: contenido de humedad y densidad seca al aire, y las propiedades mecánicas como: resistencia a la tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra. Finalmente, en la fase 3, se realizó una comparación de las propiedades mecánicas obtenidas con los requisitos especificados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015), así determinar la viabilidad y la adecuación de la madera de pino como material estructural.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

En primer lugar, para la fase inicial 1, de este trabajo experimental se procedió a la elaboración de 15 probetas de madera de pino, de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM D 143-94 (American Society For testing Materials). Para su elaboración, se empleó un tabloncillo de madera de pino de la provincia de Cotopaxi, con medidas de 150 cm * 25 cm * 5 cm, junto con una tabla tríplex de 3.2 mm, utilizada para moldear las probetas destinadas a los ensayos de tracción paralela a la fibra. Durante la preparación, se siguieron meticulosamente las directrices de corte y preparación, asegurando que cada espécimen cumpliera con los requisitos establecidos para obtener resultados consistentes en los ensayos.



Fig. 1. Plantación de pino.

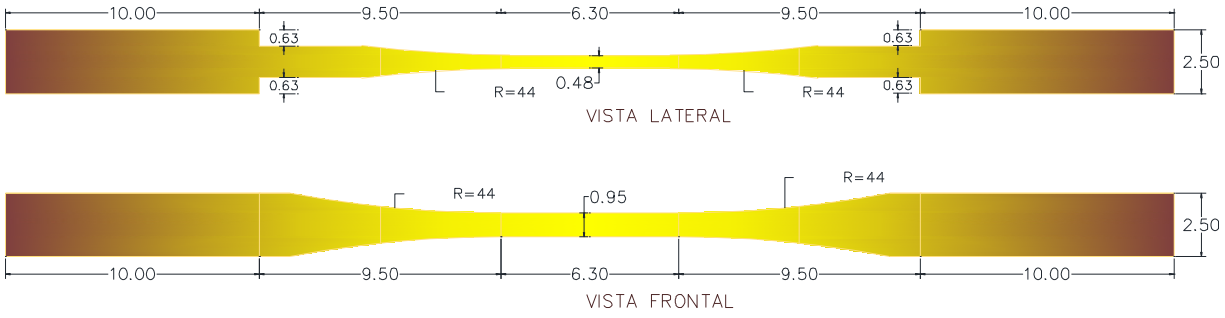
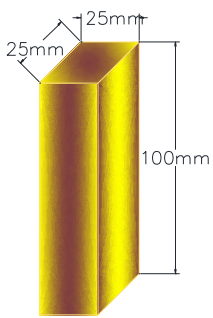
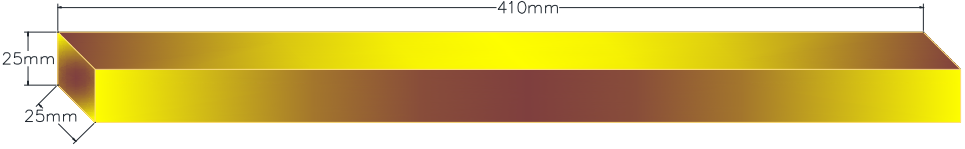


Fig. 2. Árbol de pino.

La normativa sugiere preparar entre 5 y 10 probetas para realizar los ensayos correspondientes. En este estudio, se decidió fabricar 5 probetas mediante el método secundario para el ensayo de tracción paralela a la fibra, otras 5 para el ensayo de compresión paralela a la fibra y 5 adicionales para el ensayo de flexión perpendicular a la fibra. Todo el proceso de fabricación y prueba de las probetas se realizó cumpliendo estrictamente con las especificaciones de la norma ASTM D 143-94, que establece los lineamientos técnicos y parámetros necesarios para garantizar la precisión y consistencia en los ensayos de materiales como la madera (ver TABLA I). Los ensayos se llevaron

a cabo bajo condiciones controladas, siguiendo cuidadosamente cada paso recomendado, lo que aseguró la validez de los resultados y permitió una evaluación confiable de las propiedades mecánicas del material analizado.

TABLA I.
NÚMERO DE PROBETAS A TRACCIÓN PARALELA, COMPRESIÓN PARALELA Y FLEXIÓN
PERPENDICULAR A LA FIBRA [2].

Normativa	ASTM D 143-94
#Probetas total	15
Esquema 1.	Tracción paralela a la fibra (5 especímenes)
	
Esquema 2.	Compresión paralela a la fibra (5 especímenes)
	
Esquema 3.	Flexión perpendicular a la fibra (5 especímenes)
	

En cumplimiento con la normativa establecida, se dio forma a la madera de pino según los requerimientos específicos de cada tipo de ensayo, empleando maquinaria eléctrica para optimizar y agilizar el proceso de preparación.



Fig. 3. Elaboración de probetas.

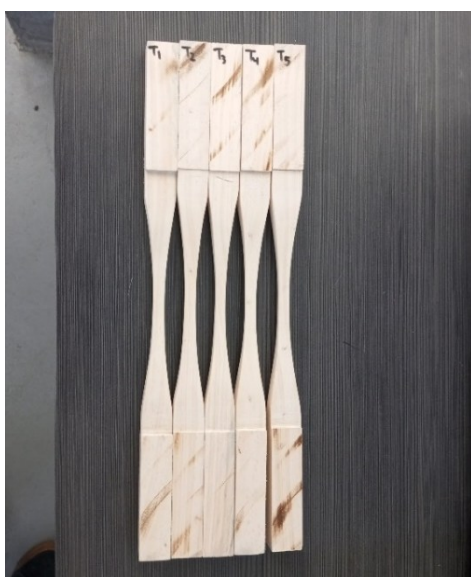


Fig. 4. Probetas a Tracción paralela a la fibra.



Fig. 5. Probetas a Compresión paralela a la fibra.



Fig. 6. Probetas a flexión perpendicular a la fibra.

Las probetas utilizadas a los distintos ensayos mecánicos, que incluyen tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra, fueron preparadas siguiendo estrictamente las especificaciones descritas en la norma ASTM D 143-94 (ver TABLA II y III, Fig.7). A continuación, se presentan los detalles correspondientes:

TABLA II.
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO A FLEXIÓN
PERPENDICULAR A LA FIBRA DE LA MADERA
SEGÚN LA NORMA ASTM D 143-94 [2].

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

TABLA III.
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO A
COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA DE LA
MADERA SEGÚN LA NORMA ASTM D 143-94 [2].

Métodos y Datos	Método Primario	Método Secundario
Probetas (mm)	50*50*200	25*25*100
velocidad de carga (mm/min)	0.3	0.3

Las especificaciones establecidas por la norma internacional ASTM D 143-94, las dimensiones para las probetas destinadas a los ensayos de tracción son de 25 * 25 * 460 mm (1 * 1 * 18 in) [2]. Estas medidas garantizan que los especímenes cumplan con el tamaño adecuado, asegurando resultados precisos y comparables, de esta manera:

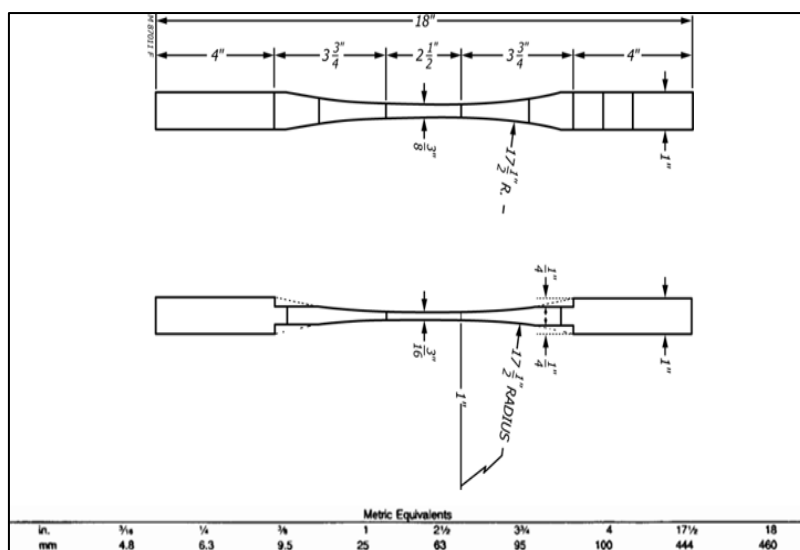


Fig. 7. Muestra de prueba de tracción paralela a la fibra [2].

Posteriormente en la fase 2, se realizó el ensayo físico para determinar el contenido de humedad, empleando cuatro especímenes de madera verde de pino procedentes de la provincia de Cotopaxi, cada una con un peso mínimo de 20 gramos [24]. Además, se determinó la densidad seca al aire con 3 especímenes sometidos a compresión paralela a la fibra y 3 a flexión perpendicular a la fibra. Los especímenes fueron equilibrados en una atmósfera estándar de 23 °C, lo que generó un contenido de humedad de equilibrio de 12%, conocido como la densidad seca al aire. Para llevar a cabo este análisis, se utilizó un horno eléctrico de convección mecánica (Precisión Mechanical Convention Oven) y una balanza electrónica de alta precisión (SHIMADZU).



Fig. 8. Especímenes de madera verde.



Fig. 9. Especímenes para densidad seca al aire, a una temperatura 23°C.

Adicionalmente, para los ensayos mecánicos se utilizaron las probetas preparadas durante la fase 1, junto con una máquina universal de ensayos (SHIMADZU AGS-X 50 kN). Esta herramienta fue empleada para llevar a cabo las pruebas de tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra.



Fig. 10. Ensayo a tracción paralela a la fibra.



Fig. 11. Ensayo a compresión paralela a la fibra.



Fig. 12. Ensayo a flexión perpendicular a la fibra.

Finalmente, en la fase 3 se llevó a cabo un análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de pino originaria de la provincia de Cotopaxi con los parámetros establecidos en el capítulo correspondiente de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015).

II. MÉTODOS

Este estudio presenta un trabajo experimental que requirió la implementación de diversos procedimientos. Estos se organizaron en una fase preliminar y 3 fases principales, las cuales se detallan a continuación:

1) Fase Preliminar: Identificación del lugar de extracción de la madera

Para llevar a cabo la fase preliminar de este trabajo experimental, se empleó el método de campo, acorde con la modalidad de investigación correspondiente. Este proceso incluyó el de trasladarse a un sitio específico en la provincia de Cotopaxi, donde se encontraba la planta de madera verde y seca, con el propósito de recolectar los especímenes necesarios para la preparación de las probetas, siguiendo los estándares establecidos en la norma internacional ASTM D 143-94.

A continuación, se presenta una imagen que representa el sitio de extracción de madera en la provincia de Cotopaxi, visitado para recolectar las piezas de madera de pino. Este lugar se detalla en la Fig. 13, donde también se incluyen sus respectivas coordenadas geográficas.

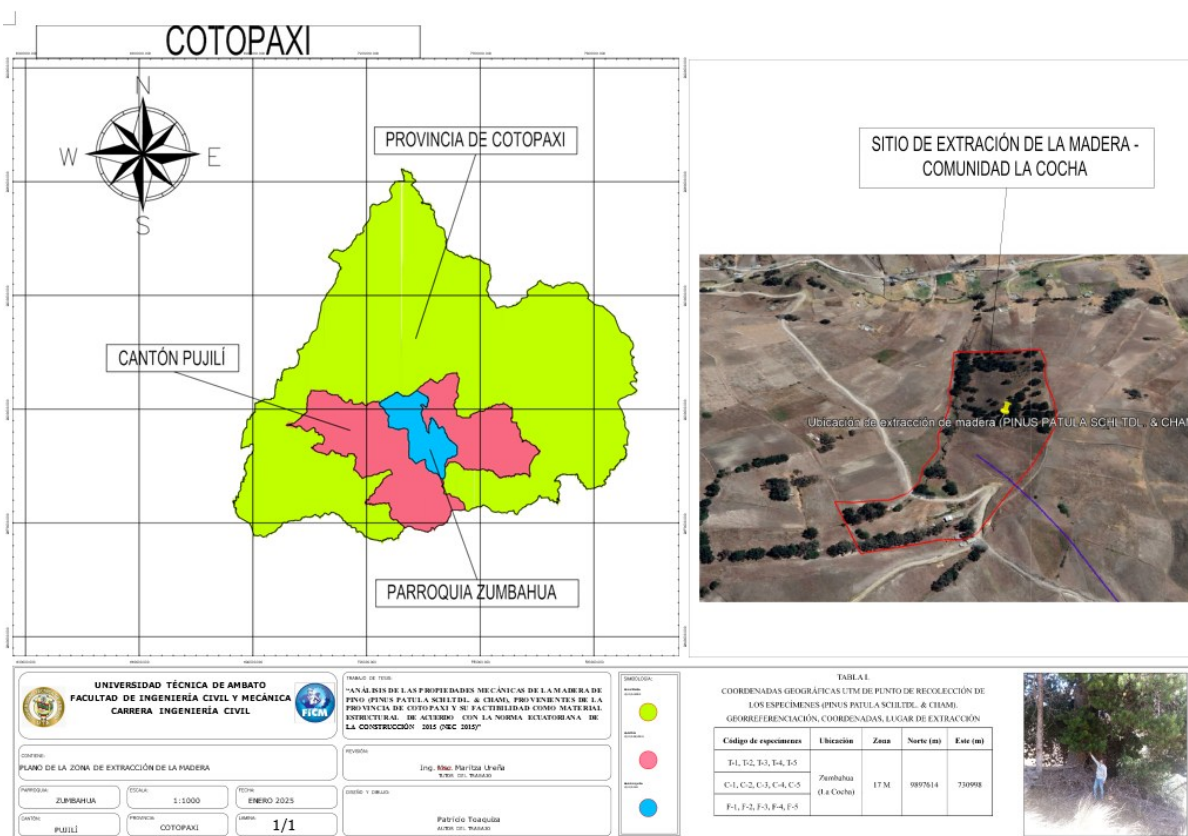


Fig. 13. Lugar donde se extrajo la madera de pino.

2) Fase 1: Elaboración de Probetas

Para la realización de la Fase 1, se empleó el método bibliográfico documental, el cual permitió revisar diversas fuentes como artículos, revistas, libros, normativas y otras publicaciones relevantes. Estas referencias fueron fundamentales para recopilar la información necesaria y desarrollar el trabajo experimental de manera adecuada, asegurando tanto la correcta preparación de las probetas de madera de pino como la realización precisa de los ensayos correspondientes.

Posteriormente, se elaboraron las probetas de madera de pino con el propósito de analizar sus propiedades físicas, como el contenido de humedad y la densidad seca al aire, además de sus propiedades mecánicas, incluyendo resistencia a la tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra. Lo de la elaboración de las probetas se llevó a cabo siguiendo estrictamente la normativa internacional ASTM D 143-94, la cual establece que los especímenes deben ser uniformes, contar con una sección homogénea y estar libres de defectos o imperfecciones para garantizar resultados confiables.

a) Especímenes de la madera verde para ensayo de contenido de humedad

Para realizar el ensayo físico de contenido de humedad se emplearon cuatro especímenes de madera de pino recién cortada como muestras representativas, ya que en la práctica comúnmente recomendadas suelen ser un peso aproximado de 20 gramos.



Fig. 14. Especímenes de madera verde.

b) Especímenes de madera para ensayo de la densidad seca al aire

Para determinar la densidad seca al aire de la madera, se llevó a cabo un procedimiento meticuloso. Inicialmente, se seleccionaron 3 especímenes representativos, garantizando que las características elegidas reflejarán de manera precisa las propiedades y dimensiones del material.

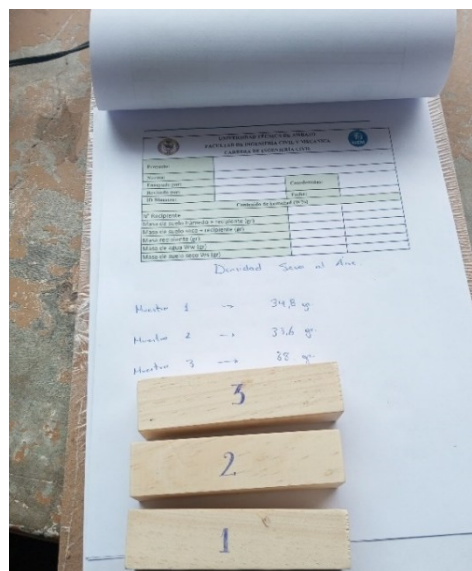


Fig. 15. Especímenes de madera seca (compresión).



Fig. 16. Especímenes de madera seca (flexión).

c) Probetas para ensayo a tracción paralela a la fibra

- Dimensiones de las probetas:

Las dimensiones seleccionadas para las probetas de madera utilizadas en el trabajo experimental se ajustaron a las especificaciones de la norma ASTM D 143-94 [25], estableciendo medidas que representan en la Fig. 7.

- Procedimientos de fabricación de las probetas:

Una vez que se obtuvieron las piezas de madera de pino secadas de manera natural en la provincia de Cotopaxi, fueron utilizadas para la elaboración de las probetas destinadas al ensayo de tracción paralela a la fibra este proceso incluyó etapas como el canteado, el cepillado y los cortes detallados anteriormente. Posteriormente, se realizó el procedimiento necesario para otorgar a las probetas las formas y dimensiones requeridas según las especificaciones.

1. Moldeado

Se emplearon moldes fabricados con tabla de triplex de 3.2 mm, diseñados específicamente para ajustar a las dimensiones necesarias en el ensayo de tracción paralela a la fibra. Estos moldes se utilizaron como guía durante la preparación de las probetas.

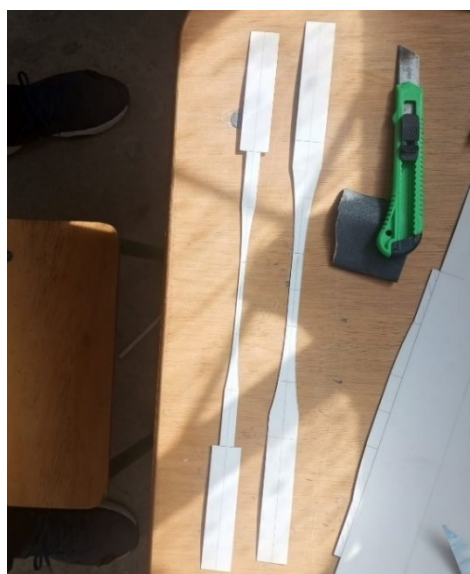


Fig. 17. Moldes en triplex.

2. Perfilado

Utilizando los moldes de triplex, se alinearon cuidadosamente los especímenes de madera para darles la forma requerida. Las curvas de las probetas se moldearon empleando una máquina

denominada “Tupi”.



Fig. 18. Alineación sobre los especímenes.

3. Ranurado

Se utilizó una sierra eléctrica para elaborar con precisión los detalles de las ranuras en las probetas de madera destinada al ensayo de tracción paralela a la fibra.



Fig. 19. Ranuras en los especímenes.

4. Lijado

Para garantizar un acabado óptimo en las probetas de madera, se lijaron los especímenes utilizando una lija suave No. 80 en los extremos y una lija No. 50 en la sección central de la probeta.



Fig. 20. Lijado de los especímenes.

○ Identificación de las probetas:

Una vez completada la elaboración de las probetas siguiendo el procedimiento previamente descrito, se procedió a identificar cada una de ellas para su uso en el ensayo de tracción paralela a la fibra, correspondiente a la madera proveniente de la provincia especificada (ver TABLA IV).

TABLA IV.
IDENTIFICACIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO DE
TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

N.º probetas	Provincia	Ensayo	Identificación
5	Cotopaxi	Tracción paralela a la fibra	T-1
			T-2
			T-3
			T-4
			T-5

d) Probetas para ensayo a compresión paralela a la fibra

○ Dimensiones de las probetas:

Las dimensiones elegidas para las probetas de madera de pino utilizadas en el trabajo experimental se ajustaron al método secundario descrito en las especificaciones de la norma internacional ASTM D 143-94, establecidos en la TABLA III.

○ Procedimientos de fabricación de las probetas:

Después de obtener las piezas de madera de pino, con dimensiones de (125 cm * 20 cm * 2.5 cm), las cuales fueron secadas de forma natural durante al menos un año, se siguió el método establecido para preparar las probetas con las dimensiones requeridas.

1. Cepillado o aislado

El procedimiento se llevó a cabo alineando cuidadosamente el tabloncillo de madera, asegurando que cada uno de sus lados estuviera recto y libre de defectos.



Fig. 21. Alineación de tabloncillo.

2. Cortes en flejes

Dado que el tabloncillo de madera de pino presentaba un grosor de 2.50 cm y un ancho de 20 cm, se procedió a dividirlo en varios flejes con dimensiones de 125 cm * 2.50 cm * 2.50 cm.



Fig. 22. Flejes para las probetas de compresión paralela a la fibra.

3. Toma de medidas

Tras completar el corte en flejes, se procedió a subdividirlos en probetas de 100 cm de longitud, adecuadas para realizar el ensayo correspondiente.



Fig. 23. Medidas estándar.

4. Corte

De acuerdo a las dimensiones definidas, se prepararon probetas con las dimensiones que se muestran en la TABLA III, para llevar a cabo el ensayo de compresión paralela a la fibra.



Fig. 24. Probetas de compresión normalizada.

○ Identificación de las probetas:

Después de fabricar las probetas siguiendo el procedimiento descrito anteriormente, se asignó un identificador único a cada una de ellas para el ensayo de compresión paralela a la fibra, correspondiente a la provincia mencionada, (ver TABLA V).

TABLA V.
IDENTIFICACIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO DE
COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

N.º probetas	Provincia	Ensayo	Identificación
5	Cotopaxi	Compresión paralela a la fibra	C-1 C-2 C-3 C-4 C-5

e) Probetas para ensayo a flexión perpendicular a la fibra

○ Dimensiones de las probetas:

Las dimensiones seleccionadas para las probetas de madera en este trabajo experimental fueron conforme al método secundario de las especificaciones de la norma ASTM D 143-94, como se indica en la TABLA II.

○ Procedimiento de fabricación de las probetas:

Una vez adquiridas las piezas de madera de pino, que habían sido sometidas a un proceso de secado natural por un periodo mínimo de un año, se elaboraron las probetas conforme a las dimensiones establecidas.

1. Cepillado o alisado

El procedimiento consistió en alinear el tabloncillo de madera, asegurando que todos sus lados quedarán uniformes y libres de imperfecciones.



Fig. 25. Cepillado de tabloncillos.

2. Cortes en flejes

Debido a que el tabloncillo de madera de pino tenía un grosor de 2.50 cm y un ancho de 20 cm, se procedió a dividirlos en flejes y dimensiones 125 cm * 2.50 cm * 2.50 cm.



Fig. 26. Cortes en flejes.

3. Toma de medidas

Después de cortar la madera en flejes se procedió a segmentarla en probetas de 41 cm de longitud, destinadas del ensayo correspondiente.



Fig. 27. Dimensiones normalizadas flexión.

4. Corte

Siguiendo las dimensiones establecidas, las probetas fueron cortadas según lo indicado en la TABLA II y posteriormente preparadas para realizar el ensayo de flexión perpendicular a la fibra.



Fig. 28. Probetas de flexión.

○ Identificación de las probetas:

Después de la elaboración de las probetas siguiendo el procedimiento detallado anteriormente, se procedió a identificar cada una de ellas para ensayo de flexión perpendicular a la fibra, correspondiente la provincia mencionada, (ver TABLA VI).

TABLA VI.
IDENTIFICACIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO DE
FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

N.º probetas	Provincia	Ensayo	Identificación
5	Cotopaxi	Flexión perpendicular a la fibra	F-1 F-2 F-3 F-4 F-5

3) *Fase 2: determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera*

En esta fase 2, se aplicó el método experimental, el cual incluyó cinco tipos de ensayos: dos ensayos físicos (contenido de humedad y densidad seca al aire), realizados conforme a la norma NTE INEN 896-2013 [24], y (ASTM-D4442-20) [26], y tres ensayos mecánicos (tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra) siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D 143-94.

A continuación, se detalla el procedimiento empleado para ejecutar el ensayo físico y los ensayos mecánicos de la madera de pino.

a) Ensayos físicos

○ Contenido de humedad:

Para determinar el contenido de humedad de la madera de pino, se aplicaron los lineamientos establecidos en la norma NTE INEN 896-2013 y (ASTM-D4442-20), utilizando el procedimiento descrito a continuación:

1. En primer lugar, se encendió la balanza electrónica con una sensibilidad de 0,01 g, asegurándose de calibrarla correctamente antes de su uso.



Fig. 29. Balanza electrónica con sensibilidad de 0.01 g.

2. Posteriormente, se procedió a pesar cada espécimen, verificando que ninguno tuviera un

peso inferior a 20 g (considerando cuatro muestras provenientes del sitio mencionado). Se registró el peso inicial proporcionado al estado húmedo de cada muestra.



Fig. 30. Peso de especímenes húmedo.

3. Seguidamente, se colocaron los cuatro especímenes en un horno eléctrico, ajustado a una temperatura de 103 ± 2 °C, donde permanecieron durante un tiempo mínimo de 20 horas, siendo recomendable extender el tiempo a 24 horas para mejores resultados.



Fig. 31. Especímenes en el horno eléctrico a temperatura 103 ± 2 °C.

4. Como paso final, una vez transcurridas las 24 horas, los especímenes fueron retirados del

horno eléctrico utilizando guantes de protección. Posteriormente, se registró su peso seco al horno o anhidro, anotando cada valor en gramos.



Fig. 32. Registro de peso anhidro.

A partir de los pesos registrados, tanto en estado húmedo como anhidro, se empleó la fórmula correspondiente para determinar el contenido de humedad de cada muestra, con las directrices establecidas en la (NEC 2015) – NEC – SE – MD [1]. Los resultados se detallan en el capítulo 3.

○ Densidad seca al aire:

Para calcular la densidad seca al aire de la madera, se seleccionaron exclusivamente las probetas destinadas a los ensayos de compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra. Esto se debió a que las probetas de tracción perpendicular a la fibra presentaban formas irregulares que impedían obtener una medición precisa de su volumen, el procedimiento aplicado fue el siguiente:

1. En primer lugar, se eligió una muestra representativa de la madera, garantizando que las probetas seleccionadas reflejaran adecuadamente las características del material analizado y cumplieran con las dimensiones y formas estandarizadas necesarias para obtener resultados confiables.



Fig. 33. Especímenes de compresión.



Fig. 34. Especímenes de flexión.

2. Una vez que se comprobó que los especímenes estaban completamente secos del aire, se procedió a medir su masa utilizando una balanza de alta precisión, registrando el valor correspondiente a la masa seca (M_{sec}) en gramos (g).



Fig. 35. Peso de espécimen seca al aire (compresión).



Fig. 36. Peso de especímenes seca al aire (flexión).

Posteriormente, utilizando los datos recolectados, se procedió a calcular el volumen de cada espécimen de madera. Para este propósito, se aplicaron métodos geométricos que consistieron en medir sus dimensiones (longitud, ancho y espesor) y se utilizó la fórmula correspondiente para determinar el volumen en centímetros cúbicos (cm^3). Finalmente, se obtuvo la densidad seca al aire de la madera (ρ) dividiendo la masa seca de la muestra (M_{sec}) entre su volumen (V). Los resultados obtenidos, junto con las fórmulas empleadas, se presentan en discusión y resultados.

b) Ensayos mecánicos

Después de preparar las probetas de madera, estas fueron identificadas con su correspondiente nomenclatura y verificadas utilizando un calibrador para confirmar que cumplieran con las dimensiones especificadas en la norma ASTM D143-94. Posteriormente, se llevaron a cabo los ensayos establecidos en este trabajo experimental, que incluyeron pruebas de tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra.

○ Ensayo a tracción paralela a la fibra:

El procedimiento implementado para llevar a cabo el ensayo de tracción paralela a la fibra en las probetas de madera de pino se desarrolló siguiendo los pasos detallados a continuación:

1. Inicialmente se encendió y calibró la máquina SHIMADZU AGS-X con una capacidad de 50 kN para garantizar la precisión en los ensayos.



Fig. 37. Calibración de máquina.

2. Posteriormente, se ajustaron las mordazas de la máquina en función de las dimensiones específicas de las probetas que serían sometidas del ensayo.



Fig. 38. Colocación de mordazas.

3. Seguidamente, se eligió el tipo de ensayo, correspondiente a la tracción paralela a la fibra.

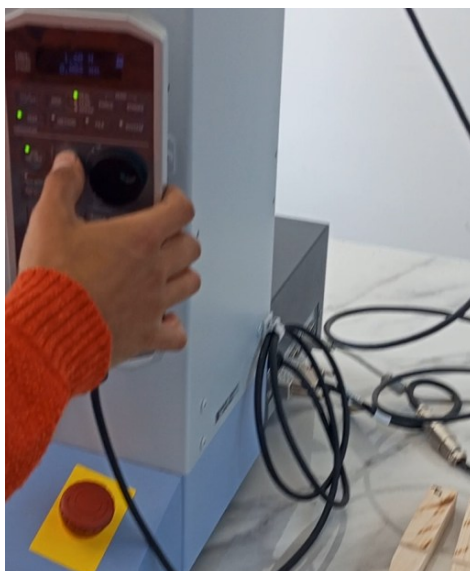


Fig. 39. Selección de ensayo.

4. Luego, se ingresaron las variables correspondientes al ensayo, que incluyeron la velocidad de carga configurada en 1 mm/min, las dimensiones de la probeta (espesor de 5.0 mm y ancho de 9.5 mm), así como la distancia entre las mordazas, establecida en 360 mm.

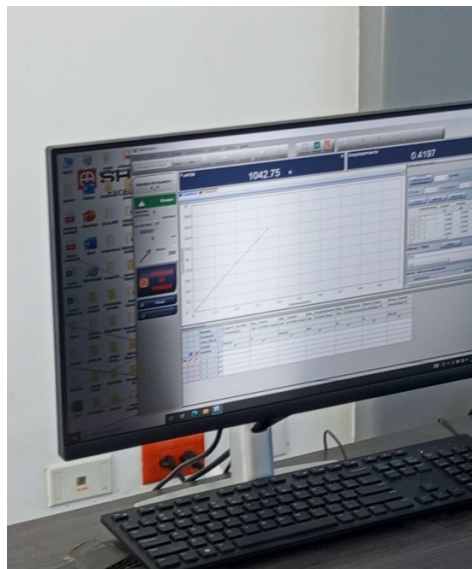


Fig. 40. Colocación de probeta.

5. Asimismo, la probeta fue colocada en la máquina, y sus extremos se ajustaron adecuadamente utilizando las mordazas para asegurar una sujeción firme.



Fig. 41. Colocación de probetas.

6. Por una parte, se registraron la fuerza y el desplazamiento iniciales, seguido de la aplicación de una precarga, tras lo cual se volvieron a registrar estos valores. Posteriormente, se presionó el botón de inicio en dos ocasiones para dar comienzo al ensayo.



Fig. 42. Inicio de ensayo.

7. Posteriormente, tras realizar los ensayos en todas las probetas y registrar la falla de cada una, los datos obtenidos fueron almacenados y exportados en formato CSV. Finalmente, dichos archivos fueron convertidos al formato XLSX para su análisis y procesamiento.

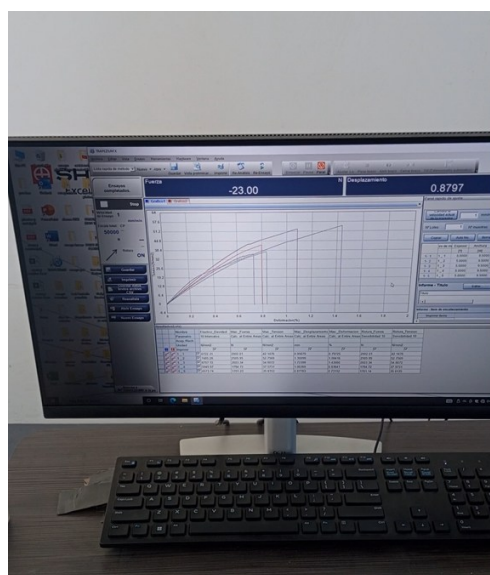


Fig. 43. Datos obtenidos.

Los tipos de fallas observados en las probetas sometidas a ensayos de tracción paralela a la fibra fueron identificados en función de la forma de la fractura y el estado del material después de realizar el ensayo, clasificándose de la siguiente manera:

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

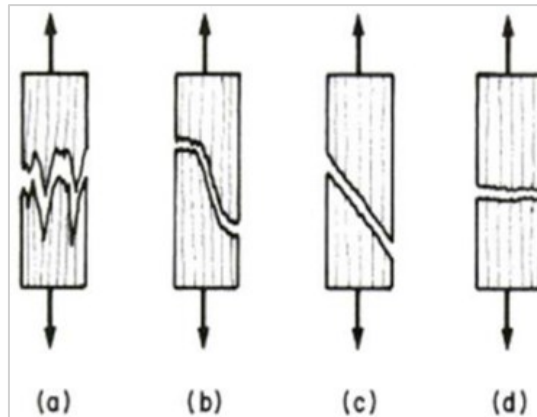


Fig. 44. Tipos de fallas en tracción paralela a la fibra [27].

○ Ensayo a compresión paralela a la fibra:

El procedimiento empleado para llevar a cabo el ensayo de compresión paralela a la fibra en las probetas de madera de pino incluyó los pasos descritos a continuación:

1. Primero, se encendió y calibró la máquina SHIMADZU AGS-X con una capacidad 50 kN.



Fig. 45. Calibración de máquina.

2. A continuación, se ajustaron las mordazas de manera precisa, garantizando la alineación adecuada según las dimensiones de las probetas, y se eligió el ensayo correspondiente.



Fig. 46. Alineación de mordazas.

3. Posteriormente, se ingresaron las variables correspondientes al ensayo, los cuales incluyeron una velocidad de carga de 0.3 mm/min, el espesor y ancho de las probetas (2.5 mm * 2.5 mm) y, finalmente, la distancia entre las mordazas de compresión, establecida en 100 mm.

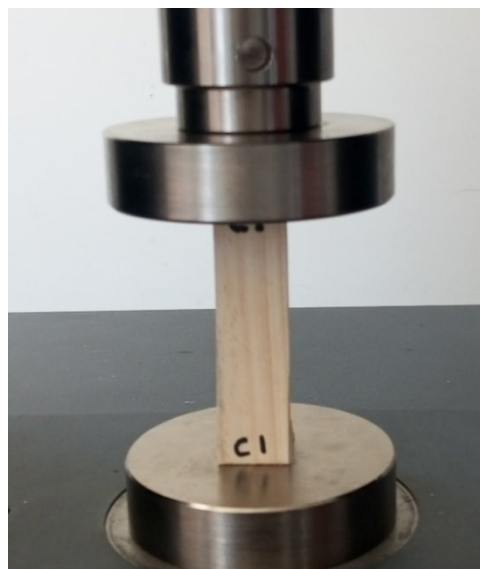


Fig. 47. Introducción de variables normadas.

4. Además, se registraron los valores de fuerza y desplazamiento, aplicándose una precarga

antes de volver a registrar dichos valores. Posteriormente, se presionó dos veces el botón de inicio (START) para dar comienzo al ensayo.

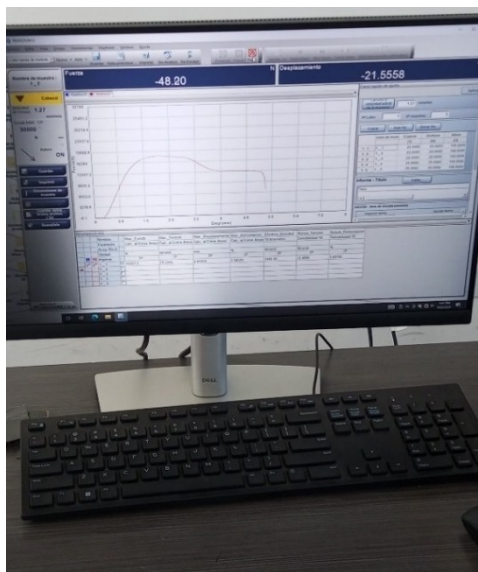


Fig. 48. Registro de fuerza y desplazamiento.

5. Finalmente, tras realizar los ensayos en todas las probetas y registrar las fallas ocurridas en cada una, los datos obtenidos fueron almacenados y exportados. Estos registros se guardaron inicialmente en formato CSV y posteriormente se convirtieron al formato XLSX para su análisis.



Fig. 49. Datos obtenidos.

Los tipos de fallas en las probetas sometidas a compresión paralela a la fibra se diferenciaron según la forma de la fractura y el estado del material tras el ensayo, clasificándose de la siguiente forma:

- a. Aplastamiento
- b. Separación de cuña
- c. Corte
- d. Separación/División
- e. Compresión y corte paralelos al grano
- f. Enrollado de los extremos

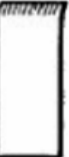
a)  Aplastante: Este término debe ser usado cuando el plano de ruptura es aproximadamente horizontal.	b)  Cuña partida: La dirección de la rajadura debe ser anotada así sea radial o tangencial.	c)  Corte: Este término debe ser utilizado cuando el plano de ruptura genera un ángulo de más.
d)  Partición: Este tipo de fallas ocurre frecuentemente en probetas que poseen defectos internos previos al ensayo, lo cual debe ser una base para la selección de la muestra.	e)  Compresión y corte paralelo a la fibra: Este tipo de fallas ocurre en muestras con secciones transversales en contra fibra.	f)  Astillado: Este tipo de falla es asociado con el exceso de humedad en los extremos de las probetas, incorrecto corte de la probeta, o ambos. Este no es un tipo de falla aceptable; se lo asocia con una carga reducida.

Fig. 50. Tipos de fallas en compresión paralela [2].

○ Ensayo a flexión perpendicular a la fibra:

El procedimiento realizado por el ensayo de flexión perpendicular a la fibra en las probetas de madera de pino consistió en lo siguiente:

1. Inicialmente, se procedió a encender y calibrar la máquina SHIMADZU AGS-X con una capacidad de 50 kN.



Fig. 51. Calibración de máquina.

2. A continuación, se colocaron los apoyos a una distancia de 360 mm, siguiendo el método secundario especificado en la norma ASTM D 143-94.



Fig. 52. Fijación de apoyos.

3. Posteriormente, se seleccionó el tipo de ensayo a realizar, en este caso (flexión estática).



Fig. 53. Selección del tipo del ensayo.

4. Luego, se ingresaron las variables correspondientes al ensayo, las cuales incluían una velocidad de carga de 1.3 mm/min, las dimensiones de espesor y ancho de la probeta (2.50 cm * 2.50 cm) y la distancia entre los apoyos, establecida en 360 mm [2].



Fig. 54. Selección del tipo de ensayo.

5. Asimismo, se posicionó la probeta de madera en el centro de los apoyos, empleando como referencia las guías marcadas en dichos apoyos para garantizar una alineación precisa.

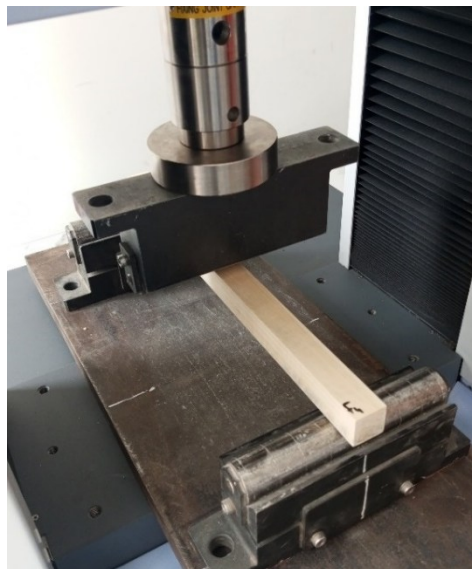


Fig. 55. Probetas fijadas.

6. Por otra parte, se ubicó la carga en el centro de la probeta, previamente marcado, y con el uso del control manual se aseguró para evitar desplazamientos, verificando que se registrara una fuerza positiva antes de iniciar el ensayo.



Fig. 56. Centrado de carga en probetas.

7. Por este motivo, se registraron la fuerza y el desplazamiento, se aplicó una precarga y, posteriormente, se volvieron a registrar los valores correspondientes. Para dar inicio al ensayo, se presionó dos veces el botón START.



Fig. 57. Registro de fuerza y desplazamiento.

8. Finalmente, tras someter todas las probetas del ensayo y registrar la falla en cada una de ellas, los datos obtenidos fueron guardados y exportados. Estos registros se almacenarán inicialmente en formato CSV, para posteriormente ser convertidos a formato XLSX.



Fig. 58. Datos generados.

Los tipos de fallas identificados en las probetas sometidas a flexión perpendicular se caracterizaron por la configuración de la fractura y el estado del material posterior al ensayo, clasificándose en las siguientes categorías:

- a. Tensión simple

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

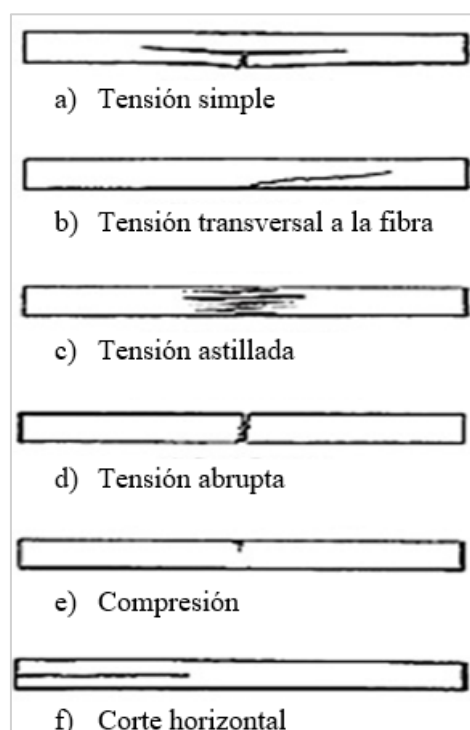


Fig. 59. Tipos de fallas en flexión estática [2].

4) *Fase 3: análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de pino, con requisitos especificados en la norma NEC 2015*

En la fase 3 de este trabajo experimental, se aplicaron dos enfoques metodológicos. El primero fue de carácter descriptivo, en el cual se elaboró una tabla que resumió el análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de pino proveniente de la provincia de Cotopaxi.

A continuación, se presentó un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, que incluyó las pruebas de tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra. Estos datos correspondieron a la única ubicación geográfica evaluada para la madera de pino, junto con el contenido de humedad y la densidad seca al aire, con el objetivo de proporcionar una referencia para los valores de diseño estructural.

A partir de estas tablas de resultados resumidos y en continuidad con las fases anteriores del trabajo experimental, se realizó un análisis comparativo de los módulos de la elasticidad y esfuerzos admisibles de la madera de pino. Este análisis evaluó las similitudes y discrepancias en los valores de resistencia máxima a tracción, compresión y flexión, tomando en cuenta las características del lugar de origen del material.

El segundo método fue de tipo explicativo, centrado en el análisis detallado del comportamiento mecánico de la madera de pino de Cotopaxi bajo las condiciones de tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra. Este método permitió una comprensión más profunda de las propiedades del material en relación con los estándares establecidos en la NEC 2015.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos en los ensayos físicos, que comprenden el contenido de humedad y la densidad seca al aire, junto con los ensayos mecánicos realizados: tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra. Además, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las fases de este trabajo experimental.

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

1) Fase Preliminar: Identificación del lugar de extracción de la madera

La recolección de los especímenes de *Pinus patula Schltdl. & Cham* se llevó a cabo en la localidad de Zumbahua, parroquia perteneciente a la provincia de Cotopaxi. Las coordenadas geográficas UTM de la zona de extracción se muestran en la Tabla VII.

TABLA VII.
COORDENADAS GEOGRÁFICAS UTM DE PUNTO DE RECOLECCIÓN DE
LOS ESPECÍMENES (PINUS PATULA SCHLTDL. & CHAM).
GEORREFERENCIACIÓN, COORDENADAS, LUGAR DE EXTRACCIÓN

Ensayos	Ubicación	Zona	Norte (m)	Este (m)
Tracción	Zumbahua (La Cocha)	17 M	9897614	730998
Compresión				
Flexión				

Esta información permitió contextualizar las condiciones ambientales que influyen en las propiedades de la madera, como la altitud y la composición climática de la región.

2) Fase I: Elaboración de probetas

En este trabajo experimental se prepararon 15 probetas de madera de pino cumpliendo estrictamente con las dimensiones especificadas en la norma ASTM D 143-94. Estas probetas se distribuyeron en tres grupos de cinco: uno destinado a ensayo de tracción paralela a la fibra, otro para compresión paralela a la fibra y el último para flexión perpendicular a la fibra. Cada muestra fue identificada con los códigos “T-1, T-2, T-3, T-4, T-5”, “C-1, C-2, C-3, C-4, C-5”, “F-1, F-2, F-3, F-4, F-5”.

3, F-4, F-5”, correspondientes a los cuadros de experimentales representados (ver TABLA VIII, VIX y X).

TABLA VIII.
ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN PARALELA A LA
FIBRA

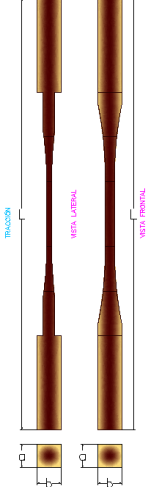
	Códigos de los especímenes:		“T-1, T.2, T-3, T-4, T-5”	
	Lugar de extracción:		Zumbahua - La Cocha	
	Provincia de origen:		Cotopaxi	
	Zona UTM:	Norte:	Este:	
	17 M	9897614	730998	
	Dimensiones:	L	a	b
		cm	cm	cm
Tracción	46	2.5	2.5	

TABLA IX.
ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN PARALELA A LA
FIBRA

	Códigos de los especímenes:		“C-1, C.2, C-3, C-4, C-5”	
	Lugar de extracción:		Zumbahua - La Cocha	
	Provincia de origen:		Cotopaxi	
	Zona UTM:	Norte:	Este:	
	17 M	9897614	730998	
	Dimensiones:	L	a	b
		cm	cm	cm
Compresión	10	2.5	2.5	

TABLA X.
ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA
FIBRA

	Códigos de los especímenes:		“F-1, F.2, F-3, F-4, F-5”	
	Lugar de extracción:		Zumbahua - La Cocha	
	Provincia de origen:		Cotopaxi	
	Zona UTM:	Norte:	Este:	
	17 M	9897614	730998	
	Dimensiones:	L	a	b
		cm	cm	cm
Flexión		41	2.5	2.5

La metodología empleada en la preparación y dimensionamiento de las probetas resultó esencial para obtener resultados consistentes. La extracción de especímenes de una misma región con dimensiones uniformes minimizó las variaciones externas, como diferencias climáticas o de densidad. Este procedimiento permitió evaluar con precisión las propiedades mecánicas de la madera de Cotopaxi, aportando datos relevantes para su uso estructural.

3) Fase 2: determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera

En este capítulo se presenta el análisis de resultados a partir de los especímenes de madera de pino provenientes de un sitio específico en la provincia de Cotopaxi, las cuales pasaron por un secado natural de al menos de un año. Con estos especímenes se elaboraron probetas, midiendo el contenido de humedad en estado verde y seco, así como la densidad seca al aire. Además, se determinaron sus propiedades mecánicas mediante ensayos de tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra, llevados a cabo en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Técnica de Ambato.

1) Propiedades físicas

a) Contenido de humedad verde

Para determinar el contenido de humedad en estado verde de la madera de pino, se recolectaron

varios especímenes de un árbol de pino recién talado en la provincia de Cotopaxi. En total, seleccionaron cuatro muestras y aplicando la ecuación (1), se obtuvieron los resultados correspondientes:

$$CH (\%) = \frac{P_h - P_{anh}}{P_{anh}} * 100 \quad (1)$$

Donde:

$CH (\%)$ = Contenido de humedad

P_h = Peso húmedo (g)

P_{anh} = Peso anhidro (g)

$$CH (\%) = \frac{65.00 \text{ g} - 33.60 \text{ g}}{33.60 \text{ g}} * 100 = \mathbf{93.41\%}$$

TABLA XI.
CONTENIDO DE HUMEDAD VERDE DE LA MADERA DE PINO
PROVENIENTE DE LA PARROQUIA ZUMBAHUA EN LA PROVINCIA
DE COTOPAXI

# Especímenes	Muestra Húmeda (g)	Muestra Anhidra (g)	Contenido de Humedad (%)
1	69.9	35.5	96.90
2	62.9	33.1	90.03
3	64.6	32.6	98.16
4	62.6	33.2	88.55
Promedio	65.0	33.6	93.41

El análisis de contenido de humedad verde en la madera de pino de Zumbahua (Cotopaxi) mostró valores de entre 88.55% y 98.16%, con un promedio de 93.41%, influenciados por las

condiciones altitudinales del área (1400 – 3200 m.s.n.m).

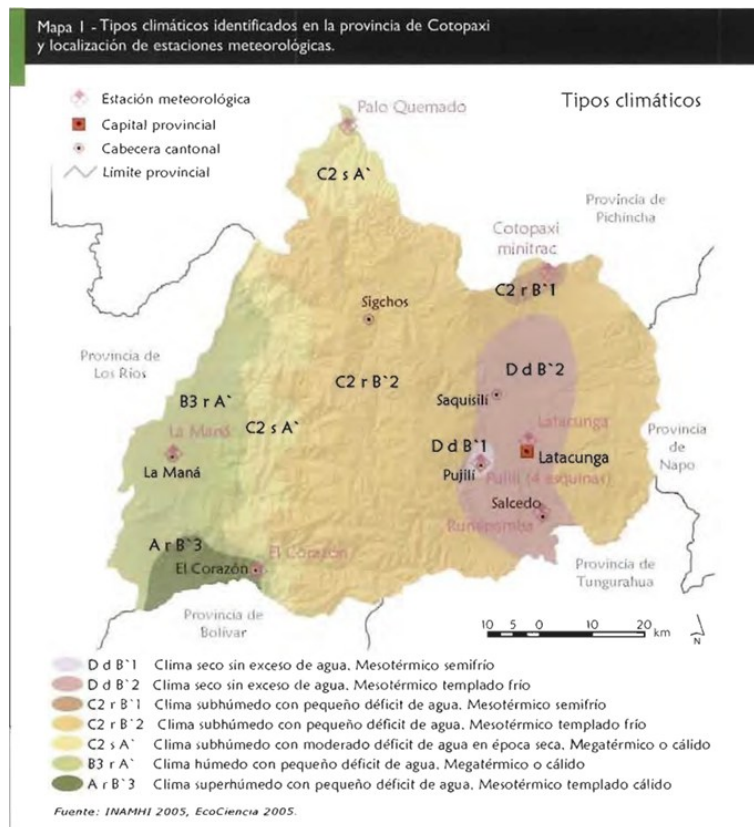


Fig. 60. Mapa climático de la provincia de Cotopaxi [28].

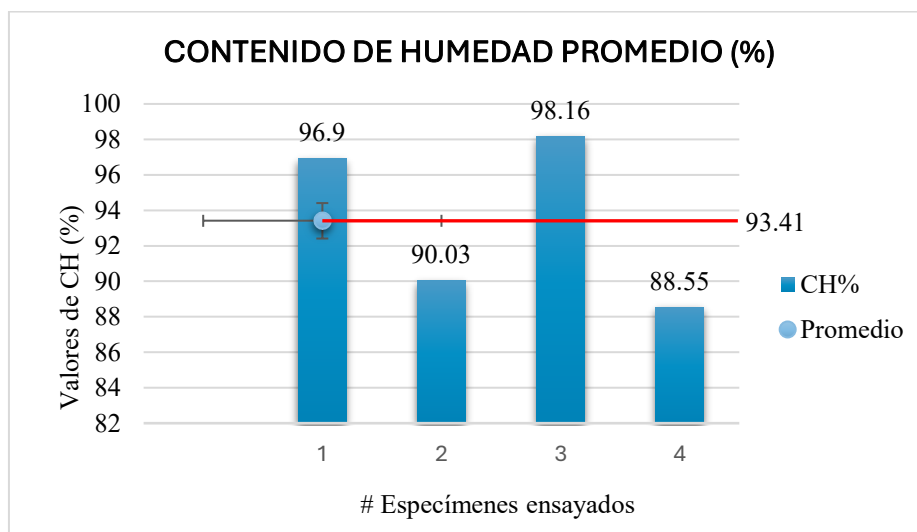


Fig. 61. Contenido de humedad madera verde (promedio).

Este valor promedio refleja las condiciones naturales de la madera al momento de su recolección.

○ Densidad básica:

La densidad básica se calculó con la ecuación (2), utilizando la relación entre el peso seco obtenido en el horno y el volumen en estado verde de los especímenes, conforme se describe a continuación:

$$\rho_b = \frac{P_{anh}}{V} \quad (2)$$

Donde:

ρ_b = Densidad básica ($\frac{g}{cm^3}$)

P_{anh} = Peso anhidro de los especímenes (g)

V = Volumen de especímenes verde (cm^3)

$$V = \frac{1}{2} * \pi * r^2 * h \quad (3)$$

Donde:

V = Volumen de especímenes verde (cilindro sólido) (cm^3)

r^2 = radio del cilindro (cm)

h = altura del cilindro (cm)

$$V = \frac{1}{2} * \pi * (2.05 \text{ cm})^2 * (11.72 \text{ cm}) = 77.19 \text{ cm}^3$$

$$\rho_b = \frac{33.60 \text{ g}}{77.19 \text{ cm}^3} = 0.44 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

TABLA XII.
RADIO, ALTURA Y VOLUMEN (INICIAL Y FINAL) DE LA MADERA VERDE
PINO

# de Especímenes	Radio Cilindro Inicial (cm)	Altura Inicial (cm)	Volumen Inicial (cm ³)	Radio Cilindro Final (cm)	Altura Final (cm)	Volumen Final (cm ³)
1	2.09	11.79	80.90	2.08	11.78	80.06
2	2.06	11.71	78.06	2.05	11.70	77.23
3	2.01	11.76	74.63	2.00	11.75	73.83
4	2.07	11.66	78.48	2.06	11.65	77.66
Promedio	2.06	11.73	78.19	2.05	11.72	77.19

TABLA XIII.
DENSIDAD BÁSICA

Provincia	Parroquia	Densidad básica ($\frac{g}{cm^3}$)
Cotopaxi	Zumbahua	0.44

De acuerdo con el “Manual de Diseño de Madera del Grupo Andino”, la densidad básica del pino está definida en 0,40 g/cm³ [29]. No obstante, en el presente trabajo experimental se obtuvo una densidad básica de 0,44 g/cm³ para la madera de pino procedente de la provincia de Cotopaxi. Este resultado muestra una adecuada concordancia con investigaciones previas, lo que confirma que el pino de esta región se clasifica como una madera blanda o de baja resistencia. Según la NEC-SE-MD, se ubica en el grupo “C”, con una densidad básica que oscila entre 0,40 y 0,55 g/cm³ [1].

b) Densidad seca al aire

Para esta propiedad se consideró un contenido de humedad equilibrado al 12% como menciona en las normativas. La obtención de la densidad seca el aire se calculó mediante la ecuación (4) y (5), obteniendo los resultados que se detallan en las TABLAS XIV y XV.

(4)

$$\rho_{seca\ al\ aire} = \frac{P_{estado\ seco\ al\ aire}}{V_{estado\ seco\ al\ aire}}$$

Donde:

$$\rho_{seca\ al\ aire} = \text{Densidad seca al aire } \left(\frac{g}{cm^3}\right)$$

$$P_{estado\ seco\ al\ aire} = \text{Peso de los especímenes en estado seco al aire (g)}$$

$$V_{estado\ seco\ al\ aire} = \text{Volumen de los especímenes en estado seco al aire (cm}^3\text{)}$$

(5)

$$V = b * d * L$$

Donde:

$$b = \text{Ancho de los especímenes (cm)}$$

$$d = \text{Alto de los especímenes (gr)}$$

$$L = \text{Largo de los especímenes (cm}^3\text{)}$$

Compresión paralela a la fibra

$$V = (2.50\ cm) * (2.50\ cm) * (10.00\ cm) = 62.50\ cm^3$$

$$\rho_{seca\ al\ aire} = \frac{35.47\ g}{62.50\ cm^3} = 0.57\ \frac{g}{cm^3}$$

Flexión perpendicular a la fibra

$$V = (2.50\ cm) * (2.50\ cm) * (41.00\ cm) = 256.25\ cm^3$$

$$\rho_{seca\ al\ aire} = \frac{148.93\ g}{256.25\ cm^3} = 0.58\ \frac{g}{cm^3}$$

TABLA XIV.
DENSIDAD SECA AL AIRE DE LA MADERA DE PINO,
ESPECÍMENES DE COMPRESIÓN

Dimensiones: 2.5*2.5*10			Volumen:	62.50 cm^3
Temperatura: 23°C				
Lugar: Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato				
# Especímenes	Peso Especímenes (g)	Peso Seco (g)	CH 12%	Densidad Seco al Aire ($\frac{g}{cm^3}$)
1	34.80	31.05	12.08	0.56
2	33.60	29.85	12.56	0.54
3	38.00	34.11	11.40	0.61
Promedio	35.47	31.67	12.00	0.57

TABLA XV.
DENSIDAD SECA AL AIRE DE LA MADERA DE PINO,
ESPECÍMENES DE FLEXIÓN

Dimensiones: 2.5*2.5*41

Volumen: 256.25 cm³

Temperatura: 23°C

Lugar: Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato

# Especímenes	Peso Especímenes (g)	Peso Seco (g)	CH 12%	Densidad Seca al Aire ($\frac{g}{cm^3}$)
1	153.9	136.79	12.51	0.6
2	141.4	124.29	13.77	0.55
3	151.5	134.39	12.73	0.59
Promedio	148.93	131.82	12.98	0.58

En el análisis, los especímenes de compresión y flexión mostraron promedios de $0.57 \frac{g}{cm^3}$ y $0.58 \frac{g}{cm^3}$, respectivamente. Con volúmenes de 62.50 cm³ y 256.25 cm³, a una temperatura ambiente de 23 °C, las dimensiones uniformes garantizaron resultados consistentes, contrastando con la densidad básica de la madera verde recién cortada que muestra $0.44 \frac{g}{cm^3}$. Estos valores reflejaron el comportamiento equilibrado de la madera de pino y su potencial para aplicaciones estructurales.

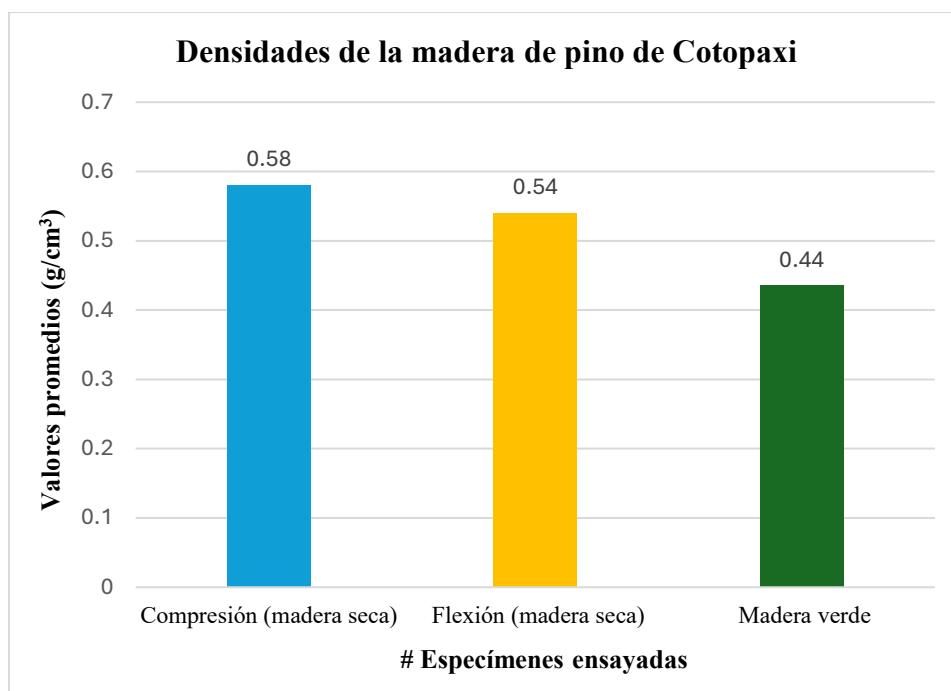


Fig. 62. Densidades de la madera de pino seco y verde.

Al comparar los resultados obtenidos con investigaciones previas, se evidenció que la densidad seca al aire de la madera de pino variando según la especie y las condiciones de crecimiento. En un análisis de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 25 años, las densidades aumentaron desde la médula hacia la zona cambiar, con promedios de 0.595 g/cm³, 0.681 g/cm³ y 0.820 g/cm³ respectivamente [30], valores comparables a los de este estudio.

2) Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas se determinaron mediante 3 tipos de ensayo: tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra. Para llevar a cabo estas pruebas, se utilizaron un total de 15 muestras de pino de madera distribuyéndose en grupos de 5 muestras para cada tipo de ensayo.

a) Tracción paralela a la fibra

Los resultados obtenidos de los ensayos de tracción paralela a la fibra se encuentran expuestos en la TABLA XVI. Para su análisis, se utilizó la ecuación (6), (7), (8) y (9), la cual fue aplicada en los cálculos correspondientes:

Resistencia a tracción paralela (σ_T)

$$\sigma_T = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad (6)$$

Donde:

σ_T = Resistencia a tracción paralela (MPa)

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima (N)

A = Área de la sección transversal (espesor x ancho) (mm^2)

$$\sigma_T = \frac{2119.45 \text{ N}}{(5.00 \text{ mm} * 9.50 \text{ mm})} = \mathbf{44.62 \text{ MPa}}$$

Deformación unitaria (ε)

$$\varepsilon = \frac{D_{axial}}{L_{ef}} \quad (7)$$

Donde:

ε = Deformación unitaria

D_{axial} = Deformación axial (mm)

L_{ef} = Longitud de la sección efectiva de la probeta en dirección de la carga (mm)

$$\varepsilon = \frac{1.17264 \text{ mm}}{330.00 \text{ mm}} = \mathbf{0.00355}$$

Módulo de elasticidad (E)

$$E = \frac{\sigma_T}{\varepsilon} \quad (8)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad (MPa)

σ_T = Esfuerzo máximo (MPa)

ε = Deformación unitaria

$$E = \frac{44.62 \text{ MPa}}{0.00355} = \mathbf{12845.72 \text{ MPa}}$$

Esfuerzo admisible (σ_{adm})

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C * F.T}{F.S * F.D.C} * \sigma_{\text{últ}}$$

(9)

Donde:

σ_{adm} = Esfuerzo admisible (MPa)

$F.C$ = 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

$\sigma_{\text{últ}}$ = Esfuerzo último (MPa)

$$\sigma_{adm} = \frac{(0.8 * 44.62 \text{ MPa})}{(2 * 1.5)} = \mathbf{11.9 \text{ MPa}}$$

TABLA XVI.
RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE PINO
DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI

ID	Carga máxima (N)	Resistencia a tracción (MPa)	Deformación axial (mm)	Deformación unitaria (mm/mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
T-1	2002.01	42.15	0.95670	0.00290	14,538.21	11.2
T-2	2505.95	52.76	1.30099	0.00394	13,381.93	14.1
T-3	2603.34	54.81	1.72399	0.00522	10,490.99	14.6
T-4	1784.72	37.57	1.00369	0.00304	12,353.52	10.0
T-5	1701.23	35.82	0.87783	0.00266	13,463.96	9.6
Promedio	2119.45	44.62	1.17264	0.00355	12845.72	11.9

Por un lado, en el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de tracción, se consideraron todas las probetas evaluadas, lo que permitió calcular valores promedios de resistencia máxima (44.62 MPa), módulo de elasticidad (12845.72 MPa) y esfuerzo admisible (11.9 MPa). De modo que, estos datos evidenciaron un desempeño mecánico favorable en comparación con investigaciones previas realizadas en especies pertenecientes al mismo género.

En resumen, se analizaron los valores correspondientes al esfuerzo máximo y mínimo, tal como se observa en la Fig. 63, la cual presenta la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria de la probeta “T-3”, que alcanzó la máxima resistencia a tracción. Por otro lado, la Fig. 64 muestra la misma relación para la probeta “T-5”, que registró la mínima resistencia a tracción en dirección paralela a las fibras.

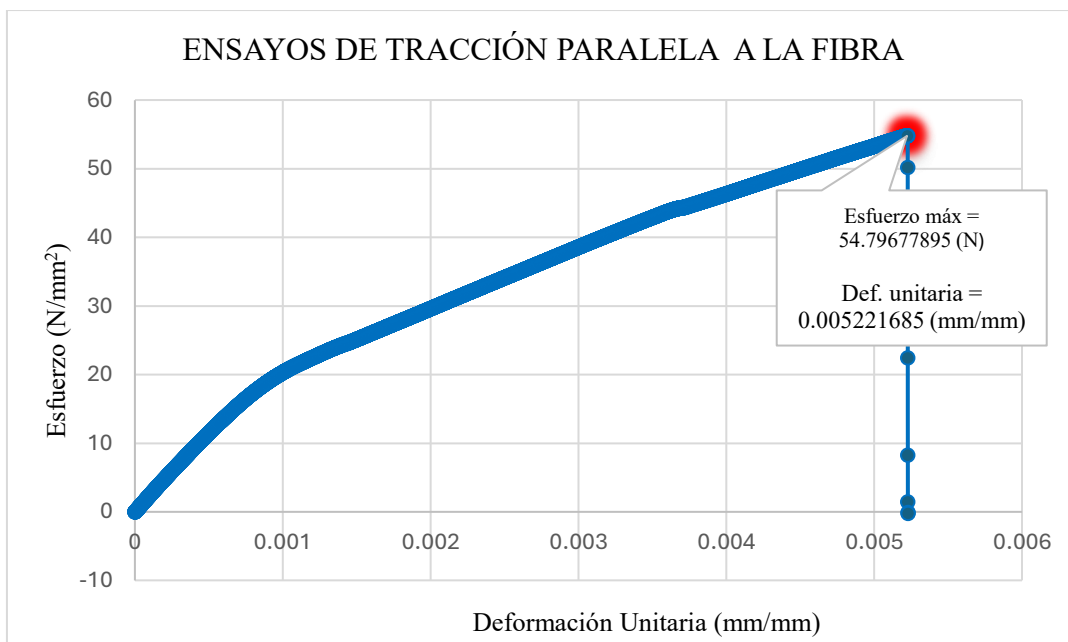


Fig. 63. Esfuerzo vs. Deformación unitaria de la probeta "T-3"

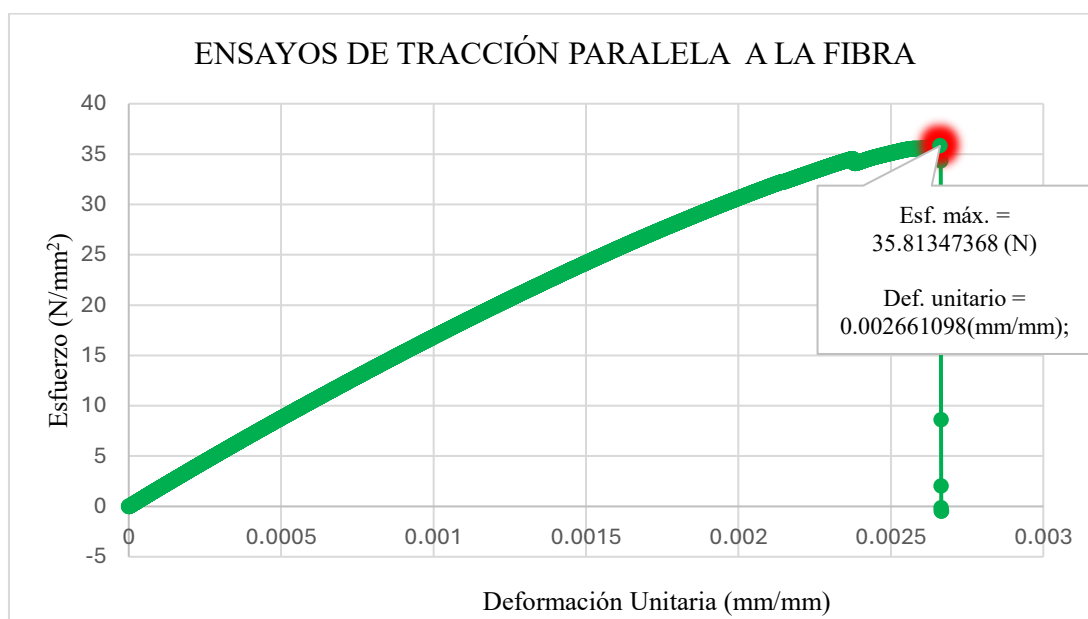


Fig. 64. Esfuerzo vs. Deformación unitaria de la probeta "T-5"

○ Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible:

Se presentaron los resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra realizado en probetas de madera de pino proveniente de la provincia de Cotopaxi. Este ensayo determinó un módulo de elasticidad promedio de 12845.72 MPa, valor que sí incluye en el grupo "B" de la clasificación

estructural establecida por la NEC 2015 (NEC-SE-MD), según la TABLA XVII.

TABLA XVII. MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA MADERA
(MPa) [1].

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

Donde:

E_{min} : El valor mínimo para realizar el cálculo de elementos individuales, como columnas y vigas.

$E_{promedio}$: Valor promedio y apropiado para el diseño de elementos sometidos a esfuerzos en conjunto, como viguetas destinadas a entablados y pies derechos empleados en tabiques o entramados [1].

Por este motivo, la madera fue clasificada estructuralmente en función de sus esfuerzos admisibles. En el caso de la madera de pino de la provincia de Cotopaxi, se obtuvo un esfuerzo admisible promedio de 11.9 MPa, valor que se situó dentro del rango establecido para madera estructural, lo que permitió incluirla en el grupo estructural “B”, como se indica en la TABLA XVIII.

Las maderas pertenecientes a estos 3 grupos estructurales deben soportar los esfuerzos correspondientes frente a cargas mecánicas:

TABLA XVIII.
ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA (MPa) [1].

Grupo	Flexión	Tracción paralela	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte paralelo
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

Dado que el valor del módulo de elasticidad se encuentra dentro del rango establecido, por lo que la madera fue clasificada como perteneciente a un grupo estructural “B”. Asimismo, el esfuerzo admisible promedio, situado entre 10.5 MPa y 14.5 MPa, cumplió con los criterios establecidos para madera estructural según lo especificado en la norma NEC 2015. Este cumplimiento se observó en las probetas sometidas a tracción paralela a la fibra, como se detallan en la TABLA XVI.

○ Relación del contenido de humedad vs. Módulo de elasticidad:

Se determinó que la relación entre el contenido de humedad y el módulo de elasticidad de la madera de pino fue directamente proporcional. Esto indicó que, a medida que disminuía el contenido de humedad en la madera, el módulo de elasticidad aumentaba, lo que se traduciría en una mayor resistencia a las deformaciones.

En la TABLA XIX se presenta el valor promedio del módulo de elasticidad obtenido en el ensayo de tracción paralela a la fibra, junto con el contenido de humedad registrado en la madera de pino seco:

TABLA XIX.
RELACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD VS.
CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo	Módulo de elasticidad promedio (MPa)	Contenido de Humedad (%)
Tracción	12845.72	12.63

Con respecto, al caso de la madera de pino originaria de la provincia de Cotopaxi se identificó

un contenido de humedad equilibrado, lo que posibilitó alcanzar un módulo de elasticidad dentro del rango especificado.

Ahora bien, las fallas observadas en las probetas de madera de pino, ocasionadas durante el ensayo de tracción paralela a la fibra, fueron las siguientes:

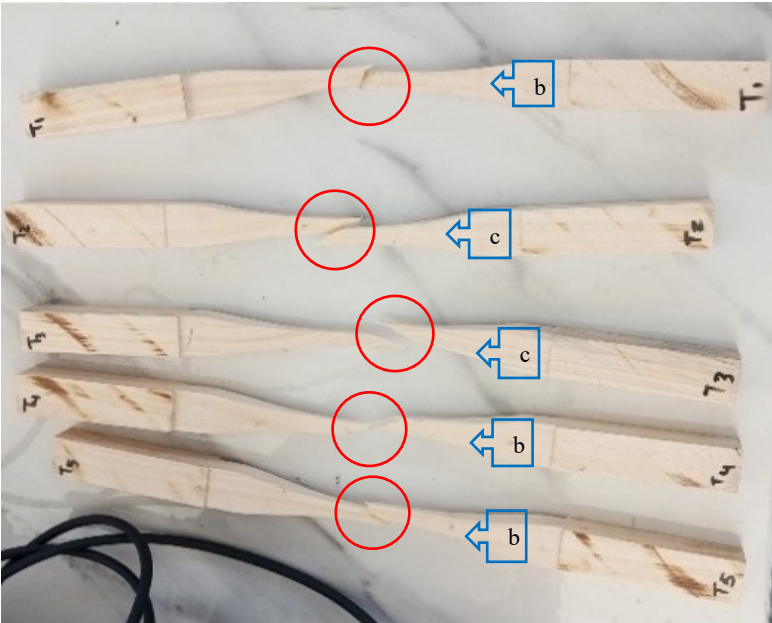
- combinados de tensión y corte (b)
- tensión cortante (c)

A continuación, en la TABLA XX se muestran los diferentes tipos de fallas observadas en cada una de las probetas sometidas al ensayo de tracción paralela a la fibra.

TABLA XX.

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

Provincia	Cotopaxi				
ID Probeta	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Tipos de fallas	b	c	c	b	b



b) Compresión paralela a la fibra

Luego, se presentaron los resultados obtenidos de los ensayos de compresión paralela a la fibra,

los cuales fueron especificados en la (TABLA XXI). Para llevar a cabo los cálculos correspondientes, se emplearon las ecuaciones que se detallan a continuación:

Resistencia a compresión paralela (σ_c)

$$\sigma_c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad (10)$$

Donde:

σ_c = Resistencia a compresión paralela (MPa)

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima (N)

A = Área de la sección transversal (mm^2)

$$\sigma_c = \frac{21385.5 \text{ N}}{(25.00 \text{ mm} * 25.00 \text{ mm})} = \mathbf{34.2 \text{ MPa}}$$

Deformación unitaria (ε)

$$\varepsilon = \frac{D_{axial}}{L_{ef}} \quad (11)$$

Donde:

ε = Deformación unitaria

D_{axial} = Deformación axial (mm)

L_{ef} = Longitud de la sección efectiva de la probeta en dirección de la carga (mm)

$$\varepsilon = \frac{1.90543}{100} = \mathbf{0.0191}$$

Módulo de elasticidad (E)

(12)

$$E = \frac{\sigma_c}{\varepsilon}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad (MPa)

σ_c = Resistencia a compresión paralela (MPa)

ε = Deformación unitaria

$$E = \frac{34.2 \text{ MPa}}{0.0191} = \mathbf{1834.8 \text{ MPa}}$$

Esfuerzo admisible (σ_{adm})

(13)

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C * F.T}{F.S * F.D.C} * \sigma_{\text{últ}}$$

Donde:

σ_{adm} = Esfuerzo admisible (MPa)

$F.C$ = 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

$\sigma_{\text{últ}}$ = Esfuerzo último (MPa)

$$\sigma_{adm} = \frac{(0.8 * 34.2 \text{ MPa})}{(1.60 * 1.25)} = \mathbf{13.7 \text{ MPa}}$$

TABLA XXI.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARALELA, LA DEFORMACIÓN UNITARIA, EL
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE DE LA MADERA DE PINO
DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI

ID	Carga máxima (N)	Resistencia a compresión (MPa)	Deformación axial (mm)	Deformación unitaria (mm/mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
C-1	20110.2	32.2	2.03258	0.0203	1,583.0	16.1
C-2	24282.4	38.9	1.83605	0.0184	2,116.1	19.4
C-3	21219.1	34.0	1.87120	0.0187	1,814.4	17.0
C-4	18137.4	29.0	2.20584	0.0221	1,315.6	14.5
C-5	23178.2	37.1	1.58149	0.0158	2,344.9	18.5
Promedio	21385.5	34.2	1.90543	0.0191	1,834.8	13.7

Por una parte, en el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de compresión, se incluyeron las cinco probetas evaluadas, lo que permitió determinar los valores promedio de resistencia máxima (34.2 MPa), módulo de elasticidad (1834.8MPa) y esfuerzo admisible (13.7MPa).

En síntesis, se evaluaron los valores asociados al esfuerzo máximo y mínimo, como se ilustra en la Fig. 65, donde se presenta la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria de la probeta "C-2", la cual obtuvo la mayor resistencia a compresión. Asimismo, la Fig. 66 refleja la misma relación para la probeta "C-4", que presentó la menor resistencia a compresión.

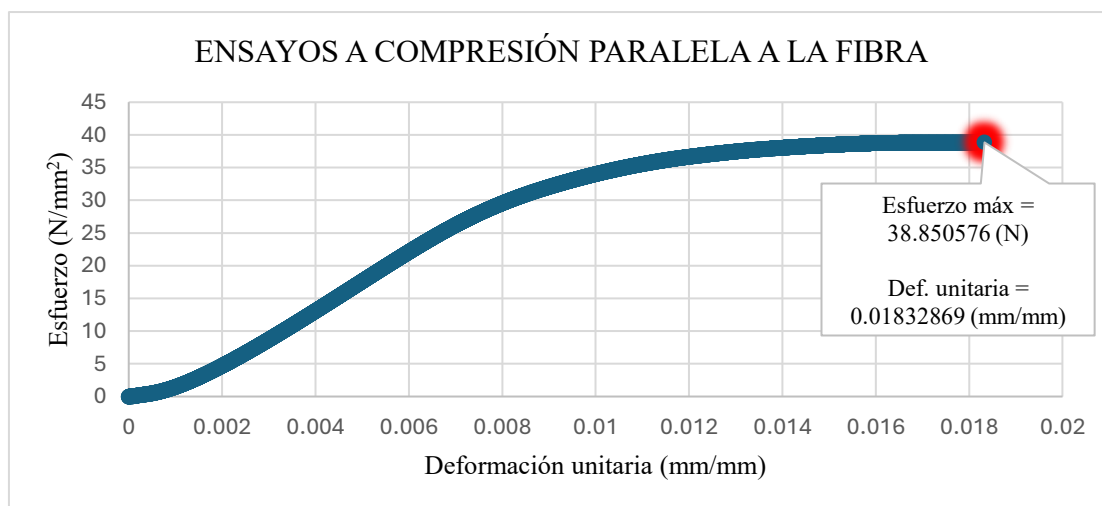


Fig. 65. Esfuerzo vs. Deformación unitaria de la probeta "C-2"

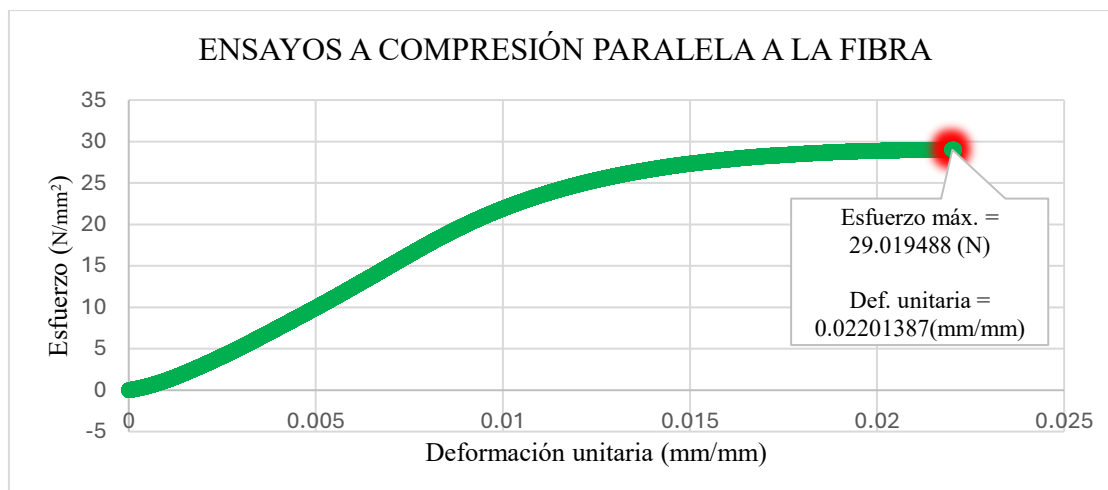


Fig. 66. Esfuerzo vs. Deformación unitaria de la probeta "C-4"

○ Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible:

Se expusieron los resultados correspondientes del ensayo de compresión paralela a la fibra realizado en probetas de madera de pino originarias de la provincia de Cotopaxi. A partir de dicho ensayo, se determinó un módulo de elasticidad promedio de 1834.8 MPa, el cual no se incluyó dentro de ninguno de los grupos definidos en la TABLA XVII de la clasificación estructural según la NEC 2015 (NEC-SE-MD).

En consecuencia, la madera fue evaluada estructuralmente considerando sus esfuerzos admisibles. En el caso específico de la madera de pino proveniente de la provincia de Cotopaxi, se obtuvo un esfuerzo admisible promedio de 13.7 MPa, valor que se ubicó dentro del límite establecido por la norma para madera estructural, comprendido entre 11.0 MPa y 14.5 MPa. Esto permitió su clasificación dentro del grupo estructural "B", como se detalla en la TABLA XVIII.

Debido a que, el módulo de elasticidad obtenido no se ubicó en ninguno de los grupos estipulados, lo que indica que la madera no clasifica dentro de un grupo estructural específico. Sin embargo, el esfuerzo admisible promedio sí se encuentra dentro del límite correspondiente al grupo "B", cumpliendo con los requisitos establecidos para madera estructural según la norma NEC 2015.

○ Relación del contenido de humedad vs. Módulo de elasticidad:

Se verificó que hubo una relación directamente proporcional entre el contenido de humedad y el módulo de elasticidad de la madera de pino. Esto evidenció que, a medida que disminuyó el

contenido de humedad en la madera, el módulo de elasticidad se incrementó, demostrando una mayor capacidad de resistencia ante las deformaciones.

La TABLA XXII mostró el valor promedio del módulo de elasticidad obtenido durante el ensayo de compresión paralela a la fibra, acompañado del contenido de humedad registrado en la misma madera de pino seco:

TABLA XXII.
RELACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD VS.
CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo	Módulo de elasticidad promedio (MPa)	Contenido de Humedad (%)
Compresión	1,834.8	12.00

En cuanto, en la madera de pino procedente de la provincia de Cotopaxi, se identificó un contenido de humedad equilibrado. Sin embargo, el valor del módulo elástico obtenido no se encuentra dentro del rango establecido por la clasificación estructural. Esta variación se asoció con la recolección de los especímenes en distintas direcciones.

Por otro lado, las fallas identificadas en las probetas de madera de pino, generadas durante el ensayo de compresión paralela a la fibra, se describieron de la siguiente manera:

- Aplastamiento (a)
- Separación de cuña (b)
- Corte (c)

Seguidamente, en la TABLA XXIII se presentan los diversos tipos de fallas identificados en las probetas sometidas al ensayo de compresión paralela a la fibra. Además, se incorporan imágenes que ilustran las fallas observadas en cada probeta analizada.

TABLA XXIII.

TIPOS DE FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE MADERA DE PINO POR EL
ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA.

Provincia	Cotopaxi				
ID Probeta	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Tipos de fallas	b	a	b	c	a

c) Flexión perpendicular a la fibra

Posteriormente, se expusieron los resultados obtenidos de los ensayos de flexión perpendicular a la fibra, los cuales se encuentran especificados en la TABLA XXIV. Los cálculos efectuados fueron realizados empleando las ecuaciones descritas a continuación:

Esfuerzo al límite proporcional elástico (σ_{lp})

$$\sigma_{lp} = \frac{3 * P' * L}{2 * b * d^2} \quad (14)$$

Donde:

σ_{lp} = Esfuerzo al límite proporcional elástico (MPa)

P' = Carga en el límite proporcional (N)

L = Longitud del soporte (mm)

b = Ancho de los especímenes (mm)

d = Alto de los especímenes (mm)

$$\sigma_{lp} = \frac{3 * 1083.94 \text{ N} * 360.00 \text{ mm}}{2 * 25.00 \text{ mm} * (25.00 \text{ mm})^2} = \mathbf{37.46 \text{ MPa}}$$

Módulo de ruptura o esfuerzo máximo ($\sigma_{m\acute{a}x}$)

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3 * P_{m\acute{a}x} * L}{2 * b * d^2} \quad (15)$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo máximo (MPa)

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima aplicada (N)

L = Longitud del soporte (mm)

b = Ancho de los especímenes (mm)

d = Alto de los especímenes (mm)

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3 * (1091.64 \text{ N}) * (360.00 \text{ mm})}{2 * (25.00 \text{ mm}) * (25.00 \text{ mm})^2} = \mathbf{37.73 \text{ MPa}}$$

Módulo de elasticidad aparente (E_{ap})

$$E_{ap} = \frac{L^3}{4 * b * d^3} * \frac{P'}{\delta_{m\acute{a}x}} \quad (16)$$

Donde:

E_{ap} = Módulo de elasticidad aparente (MPa)

P' = Carga en el rango elástico (N)

L = Longitud entre soporte (mm)

b = Ancho de los especímenes (mm)

d = Alto de los especímenes (mm)

$\delta_{m\acute{a}x}$ = deflexión en la carga máxima (N/mm)

$$E_{ap} = \frac{(360.00 \text{ mm})^3}{4 * (25.00 \text{ mm}) * (25.00 \text{ mm})^3} * \frac{1083.94 \text{ N}}{8.30 \text{ mm}} = \mathbf{3891.31 \text{ MPa}}$$

Esfuerzo admisible (σ_{adm})

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C * F.T}{F.S * F.D.C} * \sigma_{\acute{u}lt} \quad (17)$$

Donde:

σ_{adm} = Esfuerzo admisible (MPa)

$F.C$ = 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

$\sigma_{\text{últ}}$ = Esfuerzo último (MPa)

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{(0.8 * 0.9)}{(2 * 1.15)} * 37.73 = \mathbf{11.81 MPa}$$

TABLA XXIV.

ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL, MÓDULO DE RUPTURA O
ESFUERZO MÁXIMO, MÓDULO DE ELASTICIDAD APARENTE, ESFUERZO ADMISIBLE

ID	Carga máxima (N)	Deflexión máxima (mm)	Carga en límite prop. (N)	Esfuerzo al límite prop. elástico (MPa)	Módulo de ruptura o esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
F-1	1565.63	12.75	1565.27	54.10	54.11	3666.64	16.94
F-2	797.17	6.32	797.17	27.55	27.55	3764.99	8.62
F-3	768.19	6.48	731.17	25.27	26.55	3369.93	8.31
F-4	1393.18	8.38	1393.00	48.14	48.15	4964.97	15.07
F-5	934.06	7.55	933.07	32.25	32.28	3690.00	10.11
Promedio	1091.64	8.30	1083.94	37.46	37.73	3891.31	11.81

Por una parte, en el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de flexión perpendicular a la fibra, se consideraron todas las probetas evaluadas, lo que permitió determinar los valores promedio de la deflexión máxima, alcanzando 8.30 mm y una carga en el límite proporcional de 1083.94 N. Estos resultados indican que la madera tiene una buena capacidad para soportar cargas en esta dirección.

En términos generales, se presentó en la Fig. 67 la relación entre carga vs deflexión correspondiente a la probeta “F-1”, que alcanzó la máxima resistencia. Por otro lado, en la Fig. 68 se ilustró la relación carga vs deflexión de la probeta “F-3”, que registró la resistencia mínima.

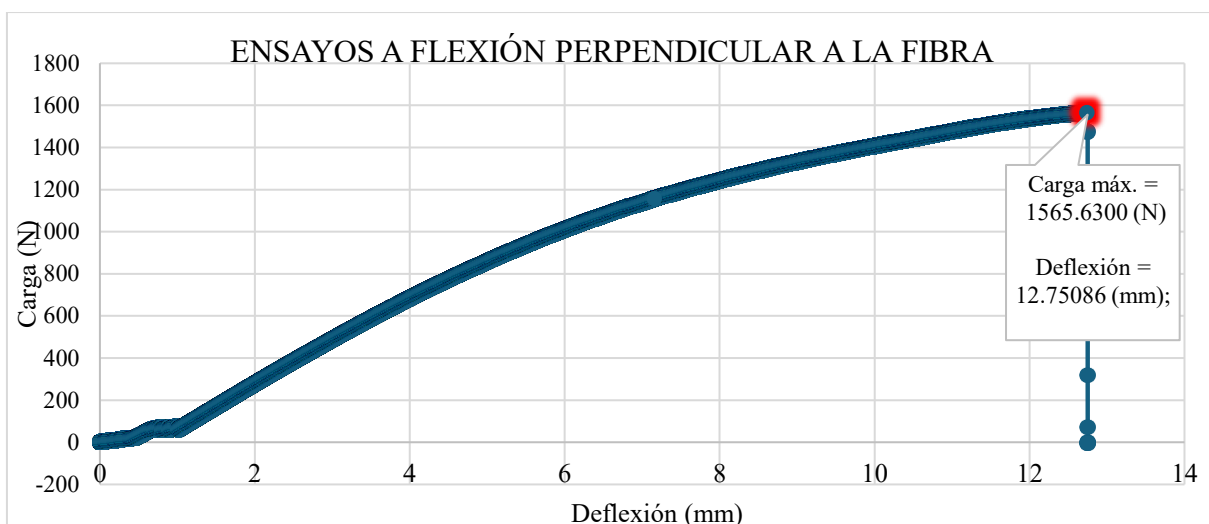


Fig. 67. Carga vs. Deflexión de la probeta "F-1"

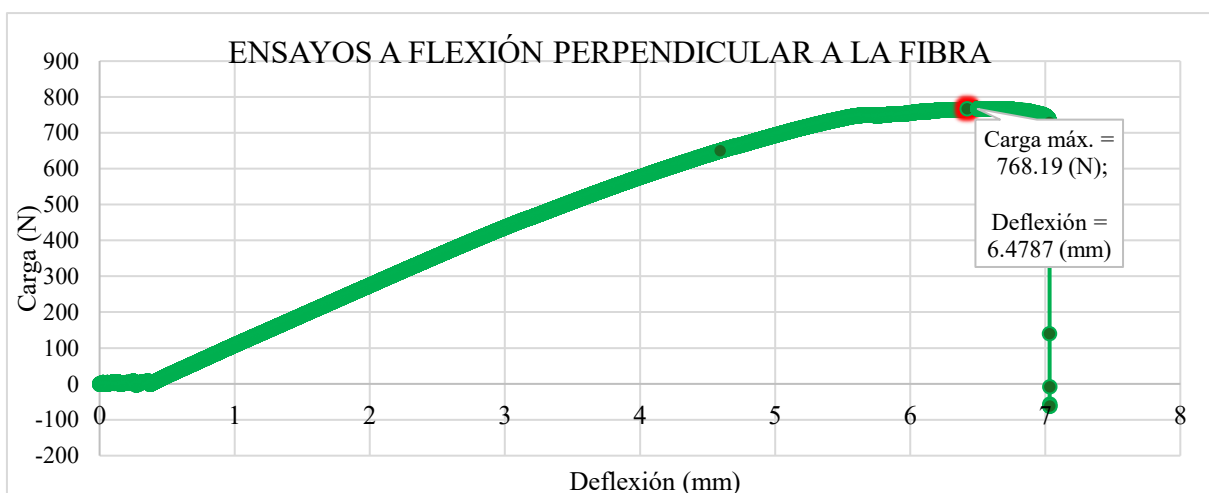


Fig. 68. Carga vs. Deflexión de la probeta "F-3"

○ Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible:

En consecuencia, los resultados obtenidos del ensayo de flexión perpendicular a la fibra realizado en probetas de madera de pino procedentes de la provincia de Cotopaxi fueron significativos. En este análisis, se determinó un módulo de elasticidad de 3891.31 MPa, el cual no corresponde a ninguno de los grupos de clasificación estructural de la madera, definidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-MD), como se detalla en la TABLA XVII.

Asimismo, la madera fue clasificada estructuralmente según sus esfuerzos admisibles, y en el caso de la madera de pino, se estableció un esfuerzo admisible de 11.81 MPa, lo que permitió

concluir que está ubicado dentro del grupo “C” de la clasificación de madera estructural, tal como se muestra en la TABLA XVIII.

○ Relación del contenido de humedad vs. Módulo de elasticidad:

Se verificó que existió una relación directamente proporcional entre el contenido de humedad y el módulo de elasticidad de la madera de pino. Esto implicó que, a medida que el contenido de humedad de la madera aumentaba, el módulo de elasticidad disminuía, lo que resultaba en una menor resistencia a las deformaciones.

La TABLA XXV Presentó el valor promedio del módulo de elasticidad obtenido en el ensayo de flexión perpendicular a la fibra, junto con el contenido de humedad registrado en la madera de pino seco:

TABLA XXV.
RELACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD VS.
CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo	Módulo de elasticidad promedio (MPa)	Contenido de Humedad (%)
Flexión	3891.31	12.98

En el caso de la madera de pino proveniente de la provincia de Cotopaxi, se determinó un contenido de humedad equilibrado. Sin embargo, el valor del módulo elástico obtenido no se encuentra dentro del rango establecido por la clasificación estructural.

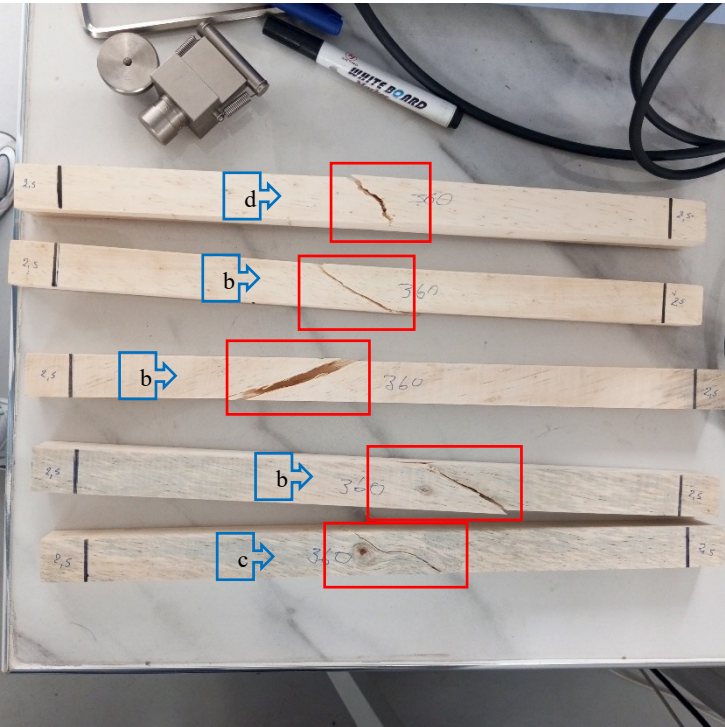
Por otro lado, las fallas observadas en las probetas de madera de pino, que se produjeron durante el ensayo de tracción paralela a la fibra, fueron las siguientes:

- Tensión transversal (b)
- Tensión astillada (c)
- Tensión abrupta (d)

A continuación, en la TABLA XXVI se presenta los distintos tipos de fallas observadas en cada una de las probetas sometidas a ensayo de flexión perpendicular a la fibra. Además, incluyen imágenes que ilustran las fallas registradas en cada probeta evaluada.

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

Provincia	Cotopaxi				
ID Probeta	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5
Tipos de fallas	d	b	b	b	c



4) *Fase 3: análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de pino, con requisitos especificados en la norma NEC 2015*

En comparación con los requisitos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015), los resultados obtenidos sobre las propiedades mecánicas de la madera de pino, se llevó a cabo un análisis comparativo considerando los valores promedios de los módulos de elasticidad y los esfuerzos admisibles de la madera proveniente de la provincia de Cotopaxi, evaluados en tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra.

- Tracción paralela a la fibra:

Seguidamente, en la TABLA XXVII se presentaron los valores correspondientes a los módulos de elasticidad y los esfuerzos admisibles de la madera de pino proveniente de la provincia de Cotopaxi, obtenidos a partir del ensayo de tracción paralela a la fibra.

TABLA XXVII.
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO
ADMISIBLE PROMEDIO DE LA MADERA DE PINO
SOMETIDA A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.

Provincia	Ensayo	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo Admisible (MPa)
Cotopaxi	Tracción	12845.72	11.9

Según la norma NEC 2015, el módulo de elasticidad promedio ($E_{promedio}$) establecido para el grupo “B” es de 10000 MPa. En los ensayos realizados en la provincia de Cotopaxi, se obtuvo un valor de 12845.72 MPa, lo que representa una diferencia porcentual de aproximadamente 28.46%. Este resultado sugiere que el valor obtenido está muy cerca del estándar correspondiente al grupo “B”, siendo ligeramente superior. Esto indica que el material evaluado posee una calidad comparable a la madera clasificada en este grupo, de acuerdo con la normativa.

Por otro lado, en relación con el esfuerzo admisible en tracción paralela a la fibra, la norma NEC 2015 asigna un valor específico para el grupo “B”. El ensayo realizado registró un valor de 11.9 MPa, lo que implica una diferencia porcentual aproximadamente de 13.33%. Este resultado demuestra que el esfuerzo admisible del material probado supera el estándar del grupo “B”, aunque permanece dentro de un rango aceptable para aplicaciones estructurales.

En lo que respecta al módulo de elasticidad, el material ensayado se clasifica dentro de la categoría media (grupo “B”), conforme a la NEC 2015. De mismo modo, en términos de esfuerzo admisible en tracción, el material está en el grupo “B”. Esto demostró que, aunque el material es rígido, su capacidad para soportar esfuerzos es más reducida.

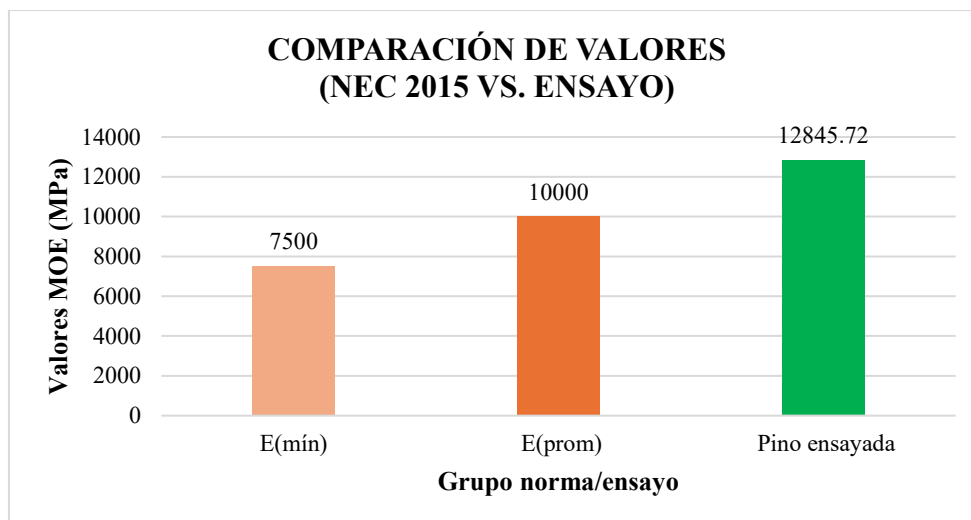


Fig. 69. Comparación de MOE (NEC 2015 vs. ensayo de Tracción).

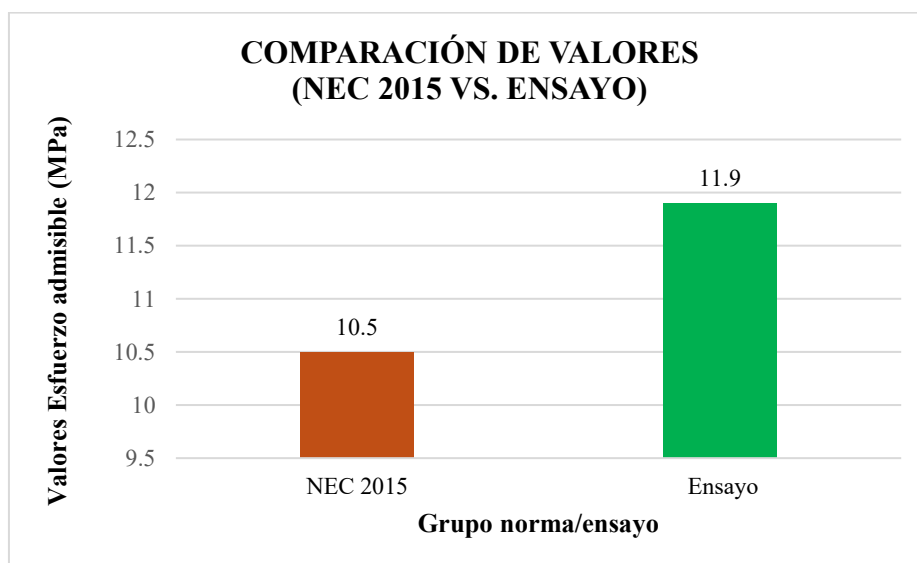


Fig. 70. Comparación de Esfuerzo admisible (NEC 2015 vs. ensayo de Tracción).

En cuanto a, la comparación con una madera extranjera, la madera de pino analizada presentó menor rigidez en la relación con el pino radiata estudiado en Perú, el cual registró un esfuerzo admisible de 36.95 MPa [31], en tracción paralela a la fibra, superando al obtenido en este estudio. Esta diferencia se atribuyó a las propiedades mecánicas superiores del pino radiata.

No obstante, su módulo de elasticidad fue inferior, alcanzando 1555.7257 kg/cm² [31], frente al valor del *Pinus patula Schltdl. & Cham*, lo que se explicó por la diferencia en las dimensiones de las probetas y las especies de pino empleadas en los ensayos.

TABLA XXVIII.
COMPARATIVA DE MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL
ESFUERZO ADMISIBLE DE PINO RADIATA (PERÚ) VS PINUS
PATULA (ECUADOR).

Ensayo	País	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
Tracción paralela	Ecuador	12845.72	11.9
	Perú	152.73	36.95

○ Compresión paralela a la fibra:

Posteriormente, en la TABLA XXIX se muestra los valores del módulo de elasticidad y el esfuerzo admisible de la madera de Cotopaxi, obtenidos mediante el ensayo de compresión.

TABLA XXIX.
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO
ADMISIBLE PROMEDIO DE LA MADERA DE PINO
SOMETIDA A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA.

Provincia	Ensayo	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo Admisible (MPa)
Cotopaxi	Compresión	1834.8	13.7

En el análisis, basándose en las TABLAS XVII, XVIII y XXIX, se realizó una comparación entre los valores establecidos en la norma NEC 2015 y los resultados obtenidos en los ensayos realizados con la madera en mención.

De acuerdo a la TABLA XVII de la NEC 2015, el módulo de elasticidad promedio ($E_{promedio}$) se encuentran especificados. Sin embargo, el ensayo realizado en Cotopaxi arrojó un módulo de elasticidad de 1834.8 MPa, un valor que no se asemeja a los grupos estándares definidos en la norma. Este resultado refleja que la rigidez de la madera ensayada es significativamente menor a la establecida en la NEC 2015, quedando fuera de las clasificaciones de madera estructural.

Por otro lado, en lo que respecta al esfuerzo admisible en compresión paralela a la fibra, la NEC

2015 detalla los valores en la TABLA XVIII. En este caso, el ensayo realizado en Cotopaxi determinó un esfuerzo admisible promedio de 13.7 MPa, lo que supera al estándar definido para el grupo “B”. Este resultado indica que, a pesar de su bajo módulo de elasticidad, la madera de Cotopaxi muestra una capacidad competitiva para soportar esfuerzos de compresión paralela a la fibra, lo que la hace adecuada para ciertos usos estructurales.

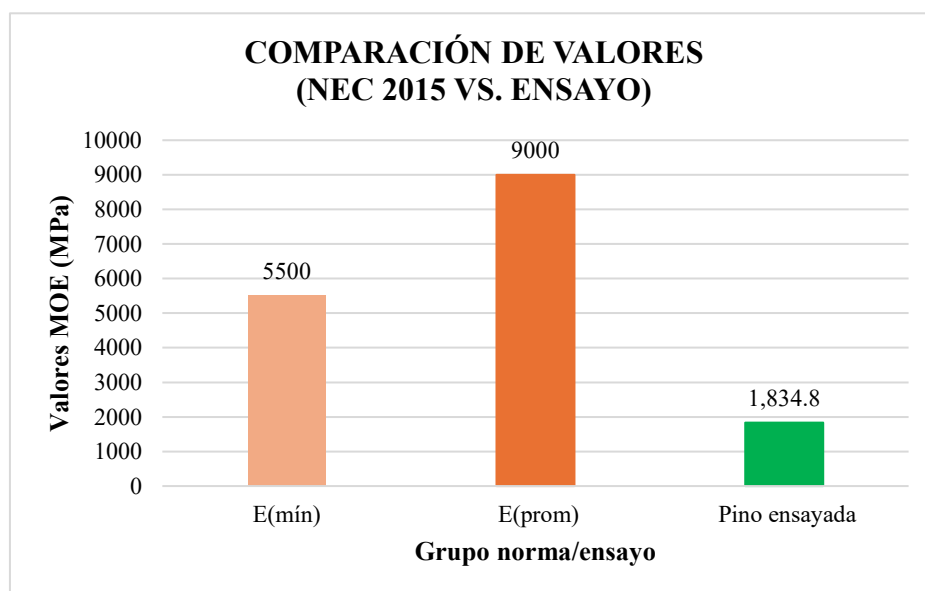


Fig. 71. Comparación de MOE (NEC 2015 vs. ensayo de Compresión).

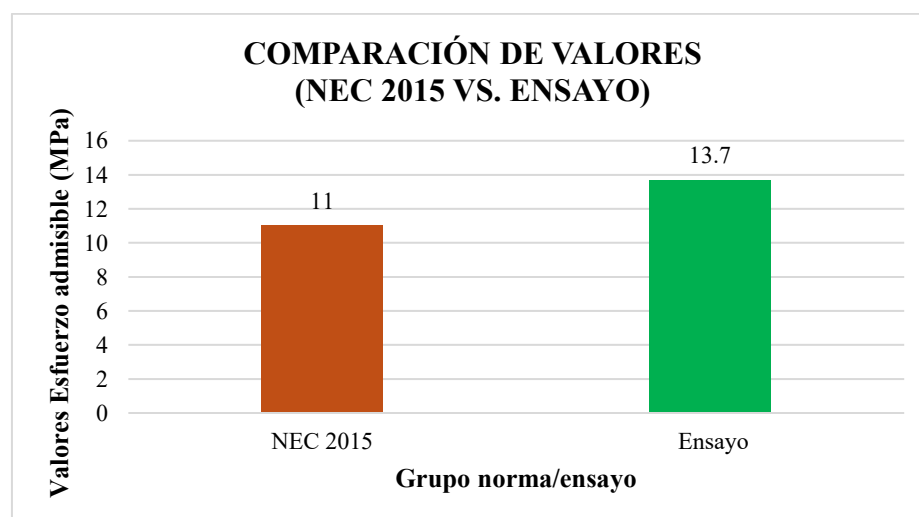


Fig. 72. Comparación de Esfuerzo admisible (NEC 2015 vs. ensayo de Compresión).

Respecto a, la comparación entre una madera extranjera y la madera de pino analizada, esta última mostró una rigidez mayor en relación con la madera de pino radiata estudiada en Perú. Por

ende, la madera de pino radiata registró un esfuerzo admisible de 13.30 MPa [31], en el ensayo de compresión paralela a la fibra, valor que resultó inferior al registrado en el presente estudio. Esta diferencia se atribuyó a las propiedades mecánicas superiores de la madera de *Pinus patula Schltdl. & Cham.*

No obstante, el módulo de elasticidad de la madera de pino radiata En Perú fue mayor, alcanzando 64774.8798 kg/cm² [31], en comparación con el obtenido para la madera de Cotopaxi. Esta variación se justificó por las diferencias en las dimensiones de las probetas y las especies de pino utilizadas en los ensayos.

TABLA XXX.
COMPARATIVA DE MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL ESFUERZO
ADMISIBLE DE PINO RADIATA (PERÚ) VS PINUS PATULA
(ECUADOR).

Ensayo	País	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
Compresión paralela	Ecuador	1834.8	13.7
	Perú	6352.25	13.30

○ Flexión perpendicular a la fibra:

Finalmente, en la TABLA XXXI se mostraron los valores de los módulos de elasticidad y los esfuerzos admisibles de la madera de pino de la provincia de Cotopaxi, obtenidos mediante el ensayo de flexión perpendicular a la fibra.

TABLA XXXI.
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZO
ADMISIBLE PROMEDIO DE LA MADERA DE PINO
SOMETIDA A FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA
FIBRA.

Provincia	Ensayo	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Esfuerzo Admisible (Mpa)
Cotopaxi	Flexión	3891.31	11.81

En el estudio, y con base en las TABLAS XVII, XVIII y XXXI, se llevó a cabo una comparación

entre los parámetros establecidos en la norma NEC 2015 y los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados como la madera analizada.

Según lo especificado en la TABLA XVII de la NEC 2015, los valores del módulo de elasticidad promedio (*Epromedio*) y mínimo (*Emínimo*) Están claramente definidos. No obstante, el ensayo realizado en Cotopaxi presentó el módulo de elasticidad de 3891.31 MPa, un valor que no se asemeja a los grupos estándares definidos en la norma. Este resultado refleja que la rigidez de la madera ensayada es significativamente menor a la establecida en la NEC 2015, quedando fuera de las clasificaciones de madera estructural.

En cuanto a, el esfuerzo admisible en flexión perpendicular a la fibra, la NEC 2015 establece los valores correspondientes en la TABLA XVIII. En este contexto, el ensayo realizado en Cotopaxi registró un esfuerzo admisible promedio de 11.81 MPa, superando el estándar establecido para el grupo “C”. Este resultado reflejó que, a pesar de su bajo módulo de elasticidad la madera de *Pinus patula Schltdl. & Cham* presentaba una capacidad para resistir esfuerzos de flexión, lo que la hacía apta para determinados usos estructurales.

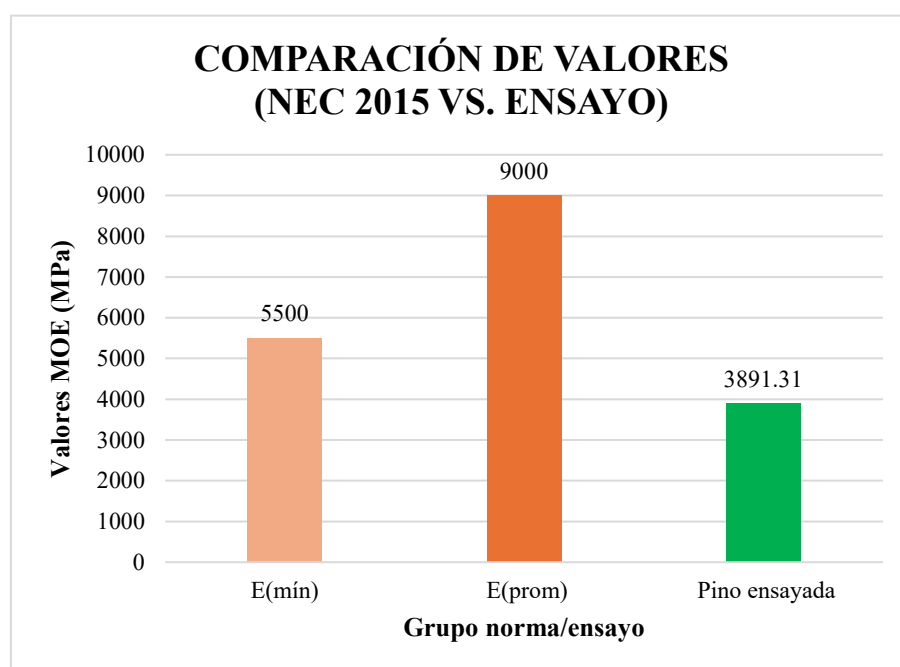


Fig. 73. Comparación de MOE (NEC 2015 vs. ensayo de Flexión).

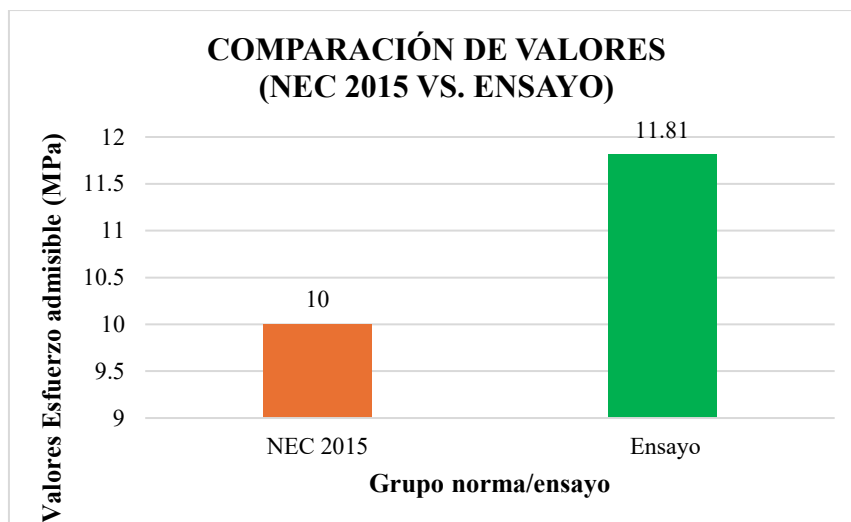


Fig. 74. Comparación de Esfuerzo admisible (NEC 2015 vs. ensayo de Flexión).

Por último, en relación con la comparación entre una madera extranjera y la madera de pino evaluada, esta última presentó una rigidez inferior en comparación con la madera de pino radiata analizada en Perú. Como resultado, la madera de pino radiata alcanzó un esfuerzo admisible de 29.44 MPa [31], en el ensayo de flexión perpendicular a la fibra, un valor superior al obtenido en el presente análisis. Esta diferencia se explicó por las propiedades mecánicas más destacadas de la madera de pino radiata en dicha dirección.

Sin embargo, el módulo de la elasticidad de la madera de pino radiata en Perú resultó inferior, registrando un valor de 45129.95 kg/cm² [31], en comparación con el obtenido para la madera proveniente de Cotopaxi. Esta diferencia se explica por las variaciones en las dimensiones de las probetas de pino empleadas en los ensayos.

TABLA XXXII.
COMPARATIVA DE MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL
ESFUERZO ADMISIBLE DE PINO RADIATA (PERÚ) VS PINUS
PATULA (ECUADOR).

Ensayo	País	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
Flexión perpendicular	Ecuador	3891.31	11.81
	Perú	4425.74	29.44

Como discusión general, el comportamiento observado en los tres tipos de ensayos refleja la influencia de factores como el contenido de humedad y la densidad en las propiedades mecánicas de la madera. Los resultados se ajustaron en gran medida a las expectativas basadas en estudios previos, salvo algunas variaciones atribuibles a las particularidades ambientales de la región de Cotopaxi. Estas diferencias remarcen la importancia de considerar el contexto local al evaluar materiales para aplicaciones estructurales. Además, los valores promedios se encuentran dentro de los rangos aceptables según la norma NEC 2015, validando la factibilidad del uso de esta madera en construcción.

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS

La madera de pino (*Pinus patula schltl. & cham*) proveniente de la provincia de Cotopaxi posee propiedades mecánicas que cumplen con los estándares establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)

B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Los resultados obtenidos en el análisis de las propiedades mecánicas de la madera de pino mostraron que el módulo de elasticidad, en algunos casos de compresión y flexión, no cumple con los requisitos exigidos para su clasificación estructural según la NEC 2015. Sin embargo, el esfuerzo admisible alcanzó los valores estipulados por la norma NEC-SE-MD en tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra, permitiendo su clasificación en el grupo estructural “C”.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. CONCLUSIONES

- Se logró la elaboración de 15 probetas de pino siguiendo estrictamente las especificaciones de la norma ASTM D 143-94, asegurando que las dimensiones y características de las muestras fueron adecuadas para los ensayos de tracción, compresión y flexión.
- La verificación de las dimensiones de las probetas con un calibrador garantizó que cumplieran con los requisitos normativos, lo que permitió obtener resultados confiables en los ensayos realizados.
- La madera de pino (*Pinus patula Schltl. & Cham*) de la provincia de Cotopaxi presenta un contenido de humedad promedio de 93.41% en estado verde y con una densidad básica de 0.44 g/cm^3 , con valores dentro del rango esperado para maderas provenientes de regiones altitudinales de 1400 a 3200 m.s.n.m.[11], ubicándola como una madera blanda según la clasificación de la NEC-SE-MD 2015, lo que posiciona como un material potencialmente adecuado para aplicaciones estructurales si se considera un apropiado secado.
- La densidad seca al aire fue de $0,57 \text{ g/cm}^3$ para probetas de compresión y de $0,58 \text{ g/cm}^3$ para probetas de flexión, valores que superan levemente el rango mínimo establecido en estudios previos sobre especies similares, reafirmando su capacidad para aplicaciones estructurales ligeras.
- En el ensayo de tracción paralela a la fibra, la madera de pino obtuvo un esfuerzo admisible promedio de 11.9 MPa, módulo de elasticidad de 12845.72 MPa, valores dentro del grupo “B” aceptables para elementos estructurales bajo esfuerzos longitudinales según la NEC 2015.
- En el ensayo de compresión paralela a la fibra, el esfuerzo admisible promedio fue de 13.7 MPa, y el módulo de elasticidad fue de 1834.8 MPa, siendo viable para elementos estructurales comprimidos de baja o moderada exigencia.
- Los ensayos de flexión perpendicular a la fibra, el esfuerzo admisible promedio fue de 11.81 MPa y un módulo de elasticidad de 3891.31 MPa, valores que indican utilizar esta madera en estructuras de baja carga como vigas y techos.

- La madera de pino de la provincia de Cotopaxi se considera viable para aplicaciones estructurales de baja resistencia, aunque su óptimo dependerá de un adecuado tratamiento y secado para mejorar sus propiedades mecánicas.
- Comparando con la NEC 2015, la madera de pino de Cotopaxi se ubica dentro de los parámetros del grupo “C” debido a su densidad y resistencia, lo que la clasifica como adecuada para aplicaciones estructurales de baja a moderada exigencia. Sí bien el módulo de la elasticidad en algunos casos no alcanzó los valores exigidos por la NEC 2015, los esfuerzos de admisibles de tracción paralela, compresión paralela y flexión perpendicular a la fibra permitieron clasificar la madera dentro del grupo estructural.

B. RECOMENDACIONES

- Incrementar el estudio de otras propiedades de la madera, como la resistencia al impacto y al desgaste, para ampliar sus posibles aplicaciones en el sector de la construcción.
- Promover programas de capacitación para ingenieros y arquitectos sobre el diseño y construcción con madera de pino, de acuerdo con la NEC 2015, fomentando su uso en estructuras de pequeña y mediana escala como vigas, de hechos y paneles considerando su resistencia moderada y su densidad adecuada.
- Implementar un sistema de control de calidad para asegurar la uniformidad en el secado y procesamiento de la madera, optimizando sus propiedades mecánicas.
- Desarrollar proyectos piloto sobre los tratamientos de impregnación y recubrimientos para mejorar la durabilidad de la madera frente a factores ambientales como humedad y plagas.
- Impulsar la reforestación con especies de pino en áreas adecuadas de Cotopaxi para garantizar una producción sostenible y continua, integrando criterios de manejo forestal responsable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] Ch. José, B. Francesca, and G. Jonathan, “Norma Ecuatoriana de la Construcción,” Jan. 2015. Accessed: Jan. 08, 2025. [Online]. Available: www.habitatyvivienda.gob.ec
- [2] “Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber,” United States, Apr. 2000.
- [3] L. Tupenaite, L. Kanapeckiene, J. Naimaviciene, A. Kaklauskas, and T. Gecys, “Timber Construction as a Solution to Climate Change: A Systematic Literature Review,” Apr. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/buildings13040976.
- [4] A. Mofolasayo, “A Comparison of Life Cycle Impact of Mass Timber and Concrete in Building Construction,” *Trends Journal of Sciences Research*, vol. 1, no. 1, pp. 47–72, Nov. 2022, doi: 10.31586/wjcea.2022.449.
- [5] E. Leszczyszyn *et al.*, “The Future of Wood Construction: Opportunities and Barriers Based on Surveys in Europe and Chile,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 7, Apr. 2022, doi: 10.3390/su14074358.
- [6] G. Janina *et al.*, “Madera y Construcción: Hacia una Simbiosis Estratégica,” 2021. Accessed: Jan. 14, 2025. [Online]. Available: <http://wef.infor.cl/>
- [7] M. Mateo Carmona and M. Angeles Álvarez González, “Tradición y Modernidad: La Arquitectura de la Madera en la Cultura Oriental,” 2018.
- [8] B. Manuel and R. Marta, “Estudios Sociales, Estética, Arte y Género: Nuevos Enfoques,” Madrid, 2023.
- [9] X. Sun, M. He, and Z. Li, “Novel engineered wood and bamboo composites for structural applications: State-of-art of manufacturing technology and mechanical performance evaluation,” vol. 249, Jul. 2020, Accessed: Jan. 14, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118751>
- [10] L. Pedro and S. Carlos, “Construir en Madera,” pp. 1–73, 2015.
- [11] E. Pedro Andrés and B. Luis E, “Catálogo de madera Estructural de Ecuador,” Jul. 2018. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/361899534>
- [12] V. Vinicio, P. Hugo, and R. Jorge, “Comportamiento de Cuatro Procedencias de *Pinus patula* Schl. et Cham, en la Estación Experimental ‘La Favorita’, parroquia rural Alluriquín, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas,” 2021.
- [13] X. Sun, M. He, and Z. Li, “Novel engineered wood and bamboo composites for structural applications: State-of-art of manufacturing technology and mechanical performance evaluation,” *Constr Build Mater*, vol. 249, p. 118751, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118751.

- [14] T S F A. França, F J N. França, R D. Seale, and R. Shmulsky, “Bending Strength and Stiffness of No. 2 Grade Southern Pine Lumber,” Dec. 2018.
- [15] S. Alex and M. Fabio, “Vantaggi Nell’utilizzo Di Strutture in Legno Per il Rispetto dei Criteri Ambiental Minimi,” 2019.
- [16] O. Hamdi and W. Chouati, “Determination Experimental de la Resistance en Flexión D’une Poutre de Dimensions Reelles en Bois de Pin D’alep Abouté et Lamellé-Collé,” Jul. 2019.
- [17] K. Alexander, A. Alina, and M. Joaquín, “Construcción Actual en Madera: Edificios de más de dos Alturas en el Noroeste de España,” pp. 1–103, Oct. 2019.
- [18] G. Ruan, H. Xiong, and J. Chen, “Bending and rolling shear properties of cross-laminated timber fabricated with Canadian hemlock,” *SDHM Structural Durability and Health Monitoring*, vol. 13, no. 2, pp. 227–246, 2019, doi: 10.32604/sdhm.2019.04743.
- [19] G. Gilberto de Jesús and R. José, “Determinación de las Propiedades Mecánicas de la Madera de la Especie Pino Oocarpa Producida en la Región Suroeste de Chiquimula y su aplicación en Vigas Ensambladas Tipo I,” Guatemala, Jun. 2019.
- [20] P. Paulo and C. Nixon et al., “Propiedades físico mecánicas del *Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page de 22 años en dos sistemas de plantación en Colombia,” *Revista Forestal del Perú*, vol. 34, no. 1, p. 41, Jun. 2019, doi: 10.21704/rfp.v34i1.1284.
- [21] A. Ede and O. Olomu et al., “Review of recently characterized Nigeria timber species for structural applications,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1036, no. 1, p. 012073, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1036/1/012073.
- [22] C. Jeniffer and G. José et al., “Proyecto de Investigación Caracterización de las Propiedades Físico-Mecánicas de las Especies de Madera de Acacia, Eucalipto y Pino Caribe,” 2020.
- [23] C. Emelec and T. Moises, “La Madera Pino Radiata y su Agrupamiento Estructural Según Norma E010-Huánuco Perú, 2022,” Huánuco, 2022.
- [24] “NTE INEN 0896_ Tableros de madera aglomerada, contrachapada y”.
- [25] C. Javier and R. Francisco, “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,” Sangolquí, Jul. 2013.
- [26] World Trade Organization Technical Barriers to Trade, “Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials,” Mar. 01, 2020, *ASTM International, West Conshohocken, PA*. doi: 10.1520/D4442-20.
- [27] T. Patricio, Tran., “Métodos de prueba estándar para Pequeños Especímenes Claros de Madera1.”

- [28] M. Christian, “Atlas socioambiental de Cotopaxi,” Quito.
- [29] C. Pedro et al., “Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino,” Dec. 1984.
- [30] M. Gabrial et al., “Variabilidad de densidad en sentido radial y dentro de un anillo de crecimiento en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 25 años de edad,” *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 35, Mar. 2022, doi: 10.18845/tm.v35i2.5866.
- [31] O. Daniella and F. Alberto, “Determinación de las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Pino (*Pinus radiata*) y Ciprés (*Cupressus lusitánica*), para su uso como Material Estructural y su Aplicación al Diseño de un Tijeral Par y Nudillo, Abancay-Apurímac,” Perú, 2022. [Online]. Available: www.nitropdf.com

Anexos

Anexo 1. Sitio de extracción de planta de pino

1. Lugar de extracción de pino



2. Planta por sustraer la muestra



3. Plantas de pino estudiada



4. Bodega de almacenamiento de madera

Anexo 2. Ensayo de contenido de humedad (CH%)

	
1. Planta de pino	2. Sitio de extracción de madera
	
3. Obtención de especímenes para CH%	4. Recubierto de los especímenes



5. Espécimen cilíndrico madera verde



6. Corte de muestra a la medida



7. Identificación, antes del ensayo



8. Protección a prueba de humedad



9. Registro de peso de especímenes



10. Especímenes para el ensayo en horno



11. Retirar muestra anhidra del horno



12. Muestra anhidra en reposo



13. Peso muestra anhidra



14. Registro de datos obtenidos

Anexo 3. Especímenes de densidad seca al aire.

1. Verificación de las probetas



2. Identificación de las probetas



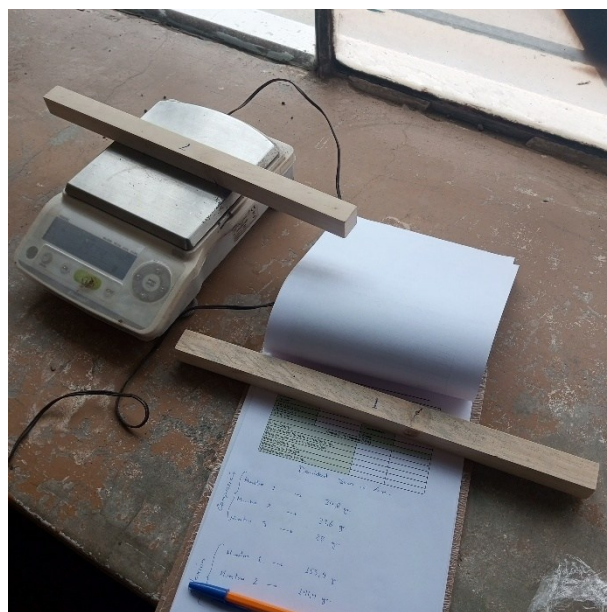
3. Peso a temperatura equilibrada



4. Peso de la probeta a flexión



5. Registro de datos peso en (gr)



6. Peso de probeta a flexión (gr)

Anexo 4. Especímenes de ensayo a tracción paralela a la fibra.

1. Tablero de pino para probetas



2. Cepillado de tablero



3. Corte en flejes (2.5 x 2.5 x 46cm)



4. Flejes con dimensiones normados



5. Medidas con Pie de Rey



6. Señalar con molde de triplex



7. Corte minucioso para probeta



8. Probetas recién cortadas



9. Lijado del centro de probeta



10. Toma de medida central



11. Probetas listo para el ensayo



12. Enserado de máquina SHIMADZU



13. Fijación de mordaza



14. Inicio de ensayo

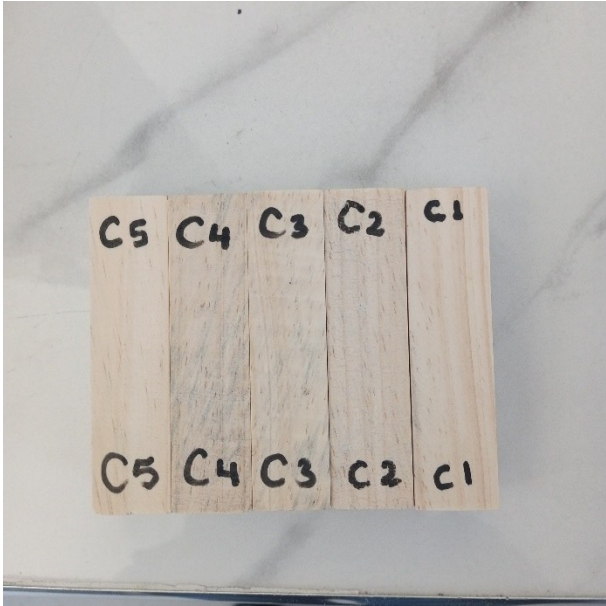


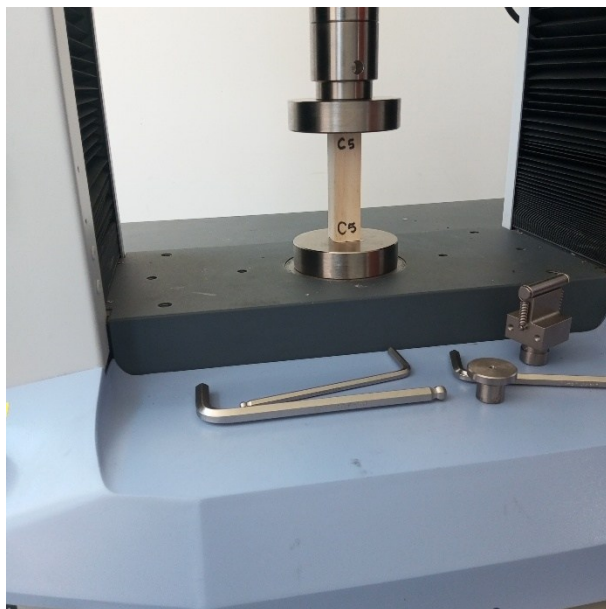
15. Probeta ensayada con fractura



16. Curva Fuerza vs Desplazamiento

Anexo 5. Especímenes de ensayo a compresión paralela a la fibra.

	
1. Flejes para preparar probetas	2. Cortes en (2.5 x 2.5 x 10 cm)
	
3. Identificación de probetas	4. Encerado e inicio de ensayo



5. Probeta en ensayo



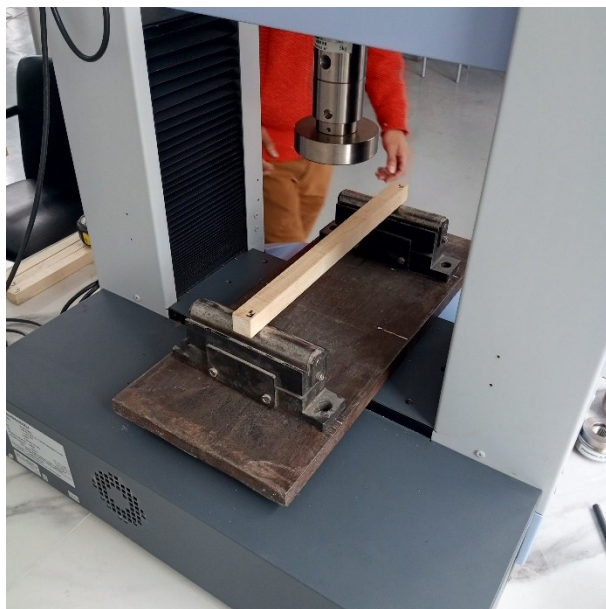
6. Probetas ensayadas

Anexo 6. Especímenes de ensayo a flexión perpendicular a la fibra.

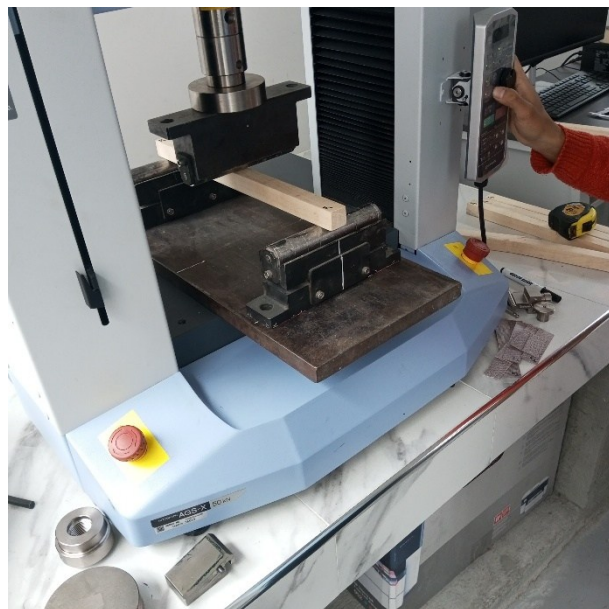
1. Flejes para probeta de flexión



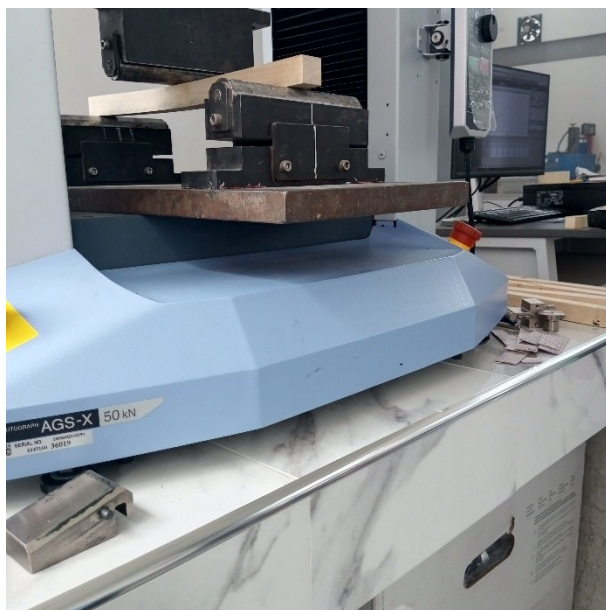
2. Probeta de ensayo (2.5x2.5x41 cm)



3. Centrado de placas



4. Encerado e inicio de ensayo



5. Probetas con cambios en el centro



6. Probetas luego del ensayo

Anexo 7. Norma NTE INEN 896-2013 y (ASTM-D4442-20).



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: Macorras, tableros, macora aglomerada, contrachapada, fibras, determinación, humedad.
AG: 08.01-302
CDD: 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 Peso antes del secado 3.4.1.1 Pesar o medir la masa la pieza de ensayo inmediatamente después del muestreo, con una aproximación de 0,01 g caso contrario se podría modificar su contenido de humedad inicial. 3.4.2 Secado 3.4.2.1 Una vez obtenida la masa de la pieza de ensayo introducirla en la estufa, donde se mantiene $103 \pm 2^\circ\text{C}$, 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 Peso después del secado (Continúa) DESCRIPTORES: Maderas, tableros, madera aglomerada, contrachapada, fibras, determinación, humedad.		

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

Z.2 BASES DE ESTUDIO

- Norma ISO 16979:2003. *Wood-based panels. Determination of moisture content.* International Organization for Standardization, Geneva, 2003.
- Norma Colombiana NTC 698:2003. *Madera Contrachapada.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, Bogotá 2003.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento:	TÍTULO: TABLEROS DE MADERA AGLOMERADA, 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

Por Resolución No. 13229 de 2013-05-05

Registro Oficial No. 23 de 2013-06-26

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno ES-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

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: D4442 – 20

Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood- Based Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D4442; 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 U.S. Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of the moisture content (MC) of wood, veneer, and other wood-based materials, including those that contain adhesives and chemical additives. The test procedures appear in the following order:

	Sections
Method A—Primary Oven-Drying Method	5
Method B—Secondary Oven-Drying Method	6

1.2 The primary oven-drying method (Method A) is intended as the sole primary method. It is structured for purposes where the highest accuracy or degree of precision is needed (for example, research or calibration).

1.3 The secondary oven-drying method (Method B) is intended for the purposes where the primary procedure (Method A) is not desired or justified. Test results in this method are generally less precise than in Method A.

1.4 For materials that have been chemically treated or impregnated with creosote, petroleum, and their solutions such that the oven-drying procedures introduce greater bias than desired in the results, other methods, such as AWWA A6, are recommended.

1.5 **Units**—The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values given in parentheses after SI units are provided for information only and are not considered standard.

1.6 *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, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.7 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the*

Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D9 Terminology Relating to Wood and Wood-Based Products

D4933 Guide for Moisture Conditioning of Wood and Wood-Based Materials

2.2 Other Standard:

AWPA Standard A6 Standard Method for the Determination of Retention of Oil-Type Preservatives from Small Samples³

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of terms used in this standard, refer to Terminology **D9**.

3.1.2 **moisture content**—amount of water contained in the wood, usually expressed as a percentage of the mass of the oven-dry wood (in accordance with Terminology **D9**).

3.1.2.1 **Discussion**—The moisture content of wood or other wood-based materials can be expressed either as a percentage of oven-dry mass of the sample (oven-dry basis) or as a percentage of the original mass (wet basis). The methods described in this standard refer to the oven-dry basis. Because oven-dry mass is used, moisture content values may exceed 100 %. The term moisture content when used with wood or other wood-based materials can be misleading since they frequently contain varying amounts of volatile compounds (extractives that are evaporated when determining moisture content). Definition of the moisture content of wood is further complicated when determined by a thermal method because of

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

Current edition approved March 1, 2020. Published April 2020. Originally approved in 1984. Last previous edition approved in 2016 as D4442 – 16. DOI: 10.1520/D4442-20.

These test methods replace, in part, Test Methods D2016, for Moisture Content of Wood, discontinued 1989.

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

³ Available from American Wood Protection Association (AWPA), P.O. Box 361784, Birmingham, AL 35236-1784, <http://www.awpa.com>.



thermal degradation, which causes the final moisture-free mass to decrease from small but continuous losses.

4. Significance and Use

4.1 Moisture content is one of the most important variables affecting the properties of wood and wood-based materials. The procedures in these test methods are structured to permit the full range of use from fundamental research to industrial processing. Method A is the reference (primary) standard for determining moisture content of wood and wood-based materials, which is designed for obtaining the most precise values of moisture content consistent with the needs of the user. It provides means of assessing variability contributed by the oven or specimen hygroscopicity, or both. In addition, criteria are described for defining the endpoint in oven-drying. Method B provides relatively simple procedures of measuring moisture content, but generally with a lower precision than Method A. Representativeness of the specimens to the full-size product, including knots, sapwood, and heartwood, needs to be considered. These methods are not recommended for use with treated wood products impregnated with creosote, petroleum, and their solutions where the volatile non-wood chemicals contained in the specimen introduce greater bias than desired in the results.

5. Method A—Primary Oven-Drying Method

5.1 Apparatus:

5.1.1 *Oven*—A forced-convection oven that can be maintained at a temperature of $103 \pm 2^\circ\text{C}$ throughout the drying chamber for the time required to dry the specimen to the endpoint shall be used. Ovens shall be vented to allow the evaporated moisture to escape (see Note 1). For calibration purposes, the oven shall be furnished with two shelves positioned at one third and two thirds of the cavity height.

NOTE 1—The ratio of sample mass to chamber volume and the air velocity within the oven are not critical if temperature and relative humidity within the oven are constant and uniform. To maintain uniform conditions throughout the oven the number of specimens in the oven should be limited and they should be well spaced to allow good air movement around all specimens. When high moisture content specimens are being dried, more frequent air exchanges are needed.

NOTE 2—For higher precision and smaller bias, the oven should be in a controlled climate room that maintains the relative humidity as low as possible. In a room with 70 % relative humidity, the same air in an oven heated to 103°C will have a relative humidity of 1.7 %. At a temperature of 103°C and 1.7 % relative humidity, the equilibrium moisture content of solid wood is approximately 0.13 %, according to Guide D4933 Eq. X1.1.

5.1.2 *Balance*—Based on a 10 g (oven-dry) specimen, the sensitivity of the balance shall be determined by the desired precision of weighing:

Precision of Weighing, %	Balance Sensitivity, mg
0.01	1
0.05	5
0.1	10
0.5	50
1.0	100

For other oven-dry mass levels, the sensitivity requirement shall be scaled appropriately.

5.1.3 *Weighing Bottles*—Weighing bottles made of a vapor-tight material that can withstand the drying temperature in the

oven (5.1.1) shall be used. Each weighing bottle shall be furnished with a stopper to prevent moisture uptake or loss during handling and weighing of the specimens. The stopper shall be assigned and kept with each bottle in case each stopper has a slightly different weight.

5.1.4 *Desiccator*—A container filled with moisture absorbing material (desiccant) shall be used for maintaining moisture-free conditions of weighing bottles and for samples cooling.

5.2 *Test Material*—Any conveniently sized wood or wood-based material can be used, consistent with the use of closed weighing bottles (5.1.3) and the balance readability (5.1.2).

5.3 *Calibration and Standardization*—Determination of specimen variability requires a separate measurement of the contribution of variability within the oven.

5.3.1 *Determination of Oven Variability*—This section permits a separate evaluation of the oven variability from that of specimens distributed in the oven.

5.3.1.1 *Calibration Specimen Selection and Preparation*—A sample of Douglas-fir wood shall be ground to sawdust and the fraction contained in a 40/60 mesh screen used. The sample origin or drying history is not critical. The sawdust shall be tumbled in a closed container until thoroughly mixed. All replicates shall be prepared at the same time from the same batch of material. All material shall be transferred and stored in vapor-tight weighing bottles with stoppers (see 5.1.3).

5.3.1.2 *Equilibration*—The moisture content of the specimens is not important if the preparation techniques described under 5.3.1.1 are used. Equilibration is not required, although it is preferable that the material be as uniform as possible in moisture content.

5.3.1.3 *Number and Location of Calibration Specimens*—Each test shall consist of a set of eight replicated specimens. These shall be located at third-point positions with respect to height, width, and depth of the oven cavity. With this scheme four specimens will be positioned on each of two shelves at one third and two thirds of the cavity height.

5.3.2 *Determination of Combined Specimen and Oven Variability*—Procedures are the same as 5.3.1.1 – 5.3.1.3 except that the specimens in a set shall be of similar size and shape in accordance with 5.2 without grinding (see Note 3). Calculate variability by the equation in 5.5.2.

NOTE 3—The specimen variability depends on various factors including the wood species, the size and the moisture condition of the specimens, because varying amounts of volatile compounds are evaporated during oven-drying (see Discussion of 3.1.2).

5.3.3 *Procedure*—Use the primary oven-drying procedure (5.4).

5.4 Procedure:

5.4.1 Specimens to be equilibrated shall be processed as in Guide D4933.

5.4.2 Store specimens in individual vapor-tight containers (for example, plastic bags) if any delay could occur between sampling and weighing.

5.4.3 Weigh each specimen in a closed weighing bottle (see 5.1.3) using a balance consistent with the desired precision (see 5.1.2) at room temperature.

NOTE 4—Be aware that static electricity affects the mass readings.

Anexo 8. Norma Internacional ASTM D 143-94.



Designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000)^{ε1}

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.

^{ε1} NOTE—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 Machines³

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.

ASTM D 143 – 94 (2000)^{e1}

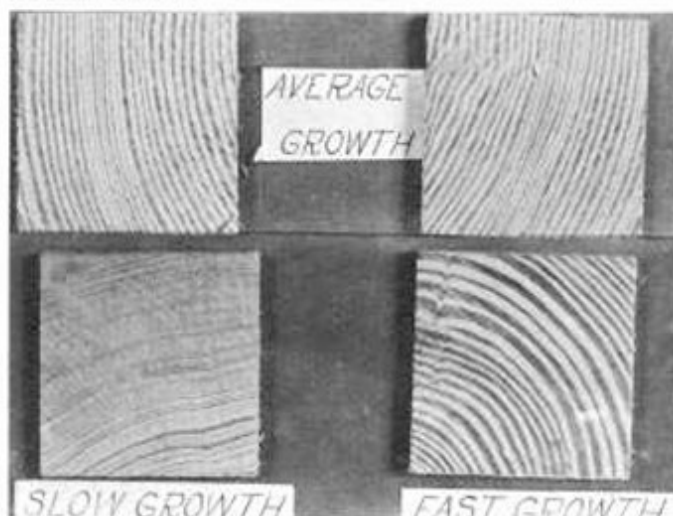


FIG. 1 Cross Sections of Bending Specimens Showing Different Rates of Growth of Longleaf Pine (2 by 2-in. (50 by 50-mm) Specimens)



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 3043.

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

ASTM D 143 – 94 (2000)^{e1}

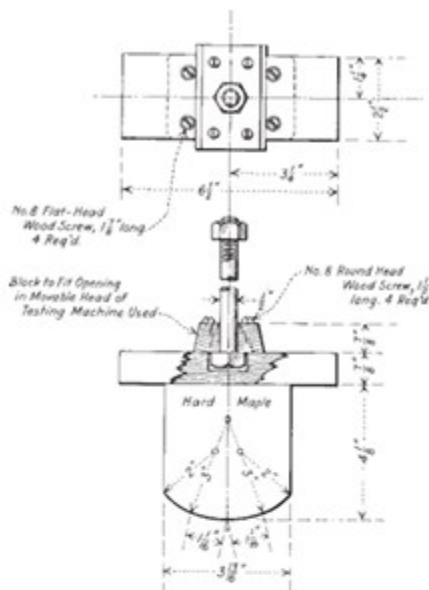


FIG. 4 Details of Bearing Block for Static Bending Tests

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-

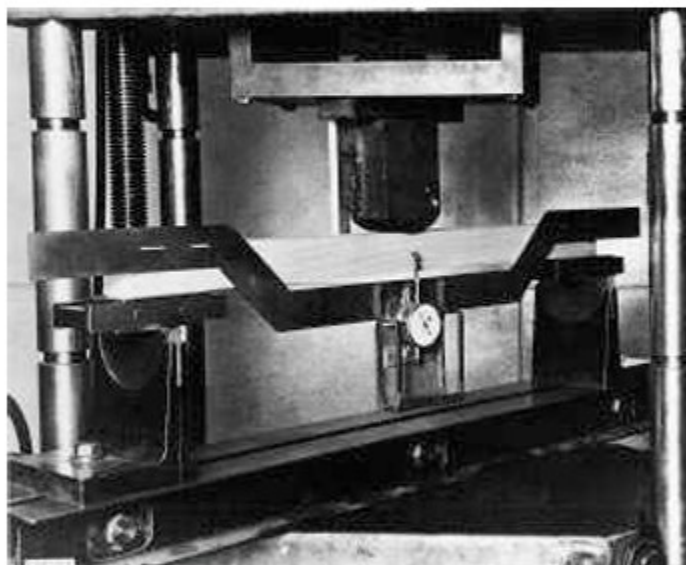


FIG. 3 Static Bending Test Assembly Showing Method of Load Application, Specimen Supported on Rollers and Laterally Adjustable Knife Edges, and Method of Measuring Deflection at Neutral Axis by Means of Yoke and Dial Attachment (Adjustable scale mounted on loading head is used to measure increments of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

mately 1 in. (25 mm). Where deflections beyond 1 in. are encountered, the deflections may be measured by means of the scale mounted on the loading head (Fig. 3) and a wire mounted at the neutral axis of the specimen of the side opposite the yoke. Deflections are read to the nearest 0.01 in. (0.2 mm) at 0.10 in. (2.5 mm) intervals and also after abrupt changes in load.

ASPM D 143 - 94 (2000)^{e1}

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

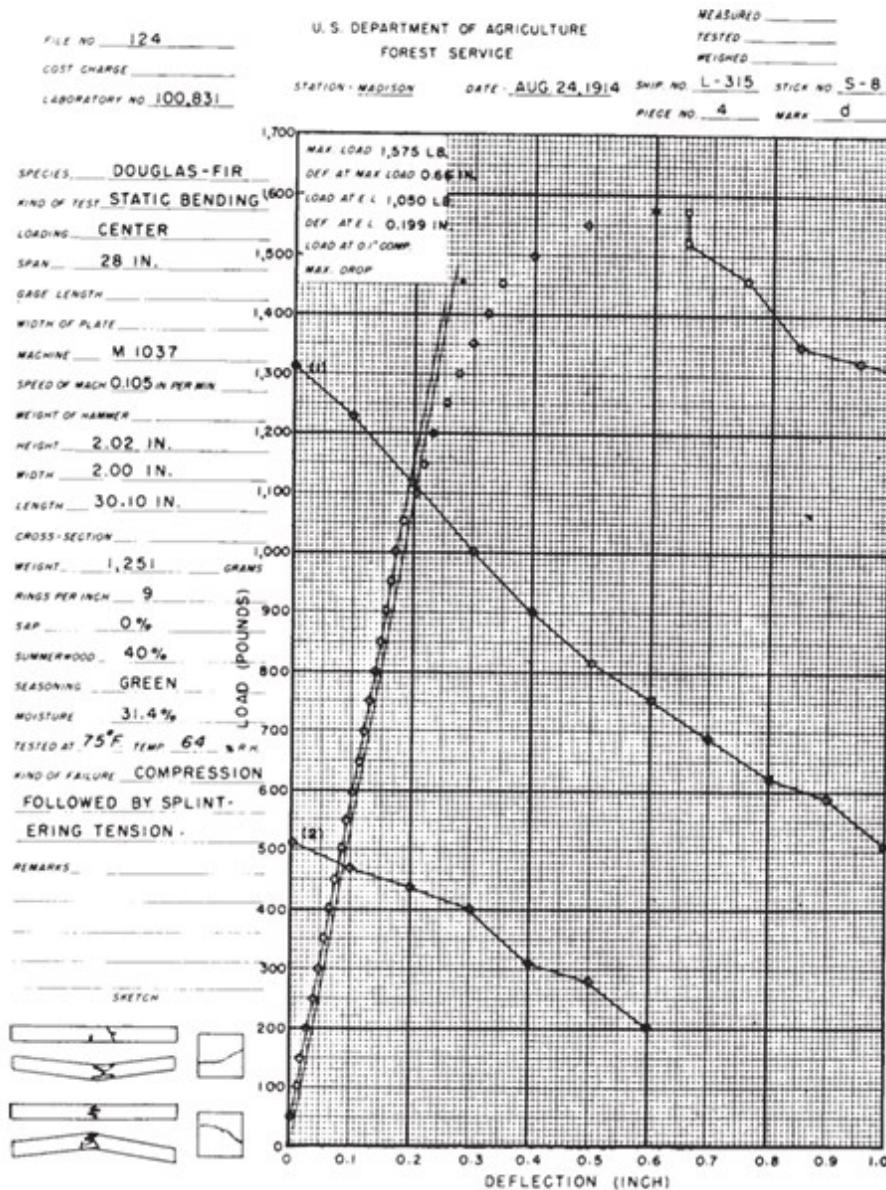
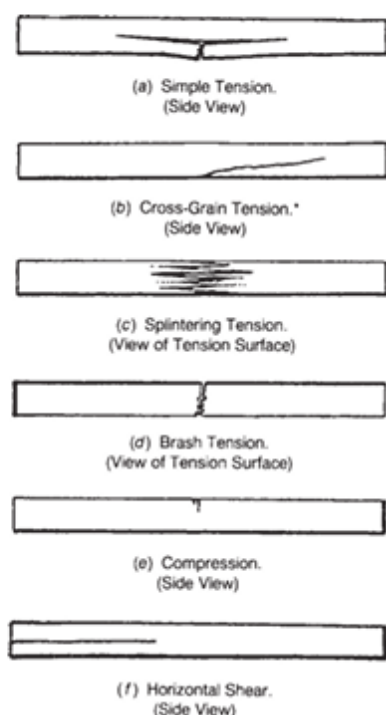


FIG. 5 Sample Data Sheet for Static Bending Test

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).

 D 143 – 94 (2000)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 have a slope that deviates more than 1 in 20 from the longitudinal edges of the specimen shall be cause for culling the test.

FIG. 6 Types of Failures in Static Bending

9. 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).

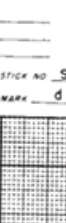
10.3 *Bearing Block*—A metal tup of curvature corresponding to the bearing block shown in Fig. 4 shall be used in applying the load.

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.



ASTM D 143 – 94 (2000)^{e1}

FILE NO. 124 U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
COST CHARGE _____ FOREST SERVICE
LABORATORY NO. 871,902 DATE NOV. 5, 1943 SHIP NO. 1590 STICK NO. S-5
SPECIES RED FIR MEASURED _____
KIND OF TEST COMPRESSION TESTED _____
LOADING PARALLEL TO GRAIN WEIGHED _____
SPAN 24,000 PIECE NO. 5 MARK d
SAGE LENGTH 6 IN
WIDTH OF PLATE 22,400
MACHINE 4272
SPEED OF MACH. 0.0223 IN PER MIN
WEIGHT OF HAMMER 19,200
HEIGHT 17,600
WIDTH 8.02 IN
LENGTH 2.002 X 2.014 IN.
CROSS-SECTION 198.9 GRAMS
RINGS PER INCH 7
SAP 0%
SUMMERWOOD _____
SEASONING KILN DRY
MOISTURE 11.5%
TESTED AT 75°F TEMP. 64.4 IN
KIND OF FAILURE CRUSHING NEAR END
REMARKS _____
SKETCH 


27,200
MAX. LOAD 20,880 LB.
DEF. AT MAX. LOAD
LOAD AT E.L. 16,800 LB.
DEF. AT E.L. 0.0197 IN.
LOAD AT 0.1" COMP
MAX. DROP
LOAD (POUNDS)
COMPRESSION (INCH)
0 0.005 0.010 0.015 0.020 0.025

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.

ASTM D 143 – 94 (2000)^{e1}

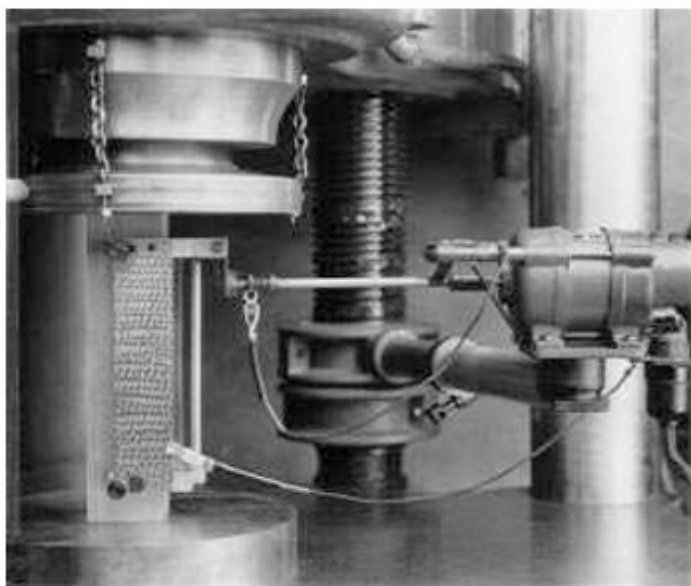


FIG. 8 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Using an Automatic Type of Compressometer to Measure Deformations
(The wire in the lower right-hand corner connects the compressometer with the recording unit.)



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 Amsler have been used, but insufficient information is available to decide whether one procedure is superior to another, or whether the results by the different methods can be directly correlated. If the Toughness machine is used, the following procedure has been found

satisfactory. To aid in standardization and to facilitate comparisons, the size of the toughness specimen has been made equal to that accepted internationally.

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

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

11.4 *Bearing Block*—An aluminum tup (Fig. 15) having a radius of $\frac{3}{4}$ 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:

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

 D 143 – 94 (2000)^{e1}

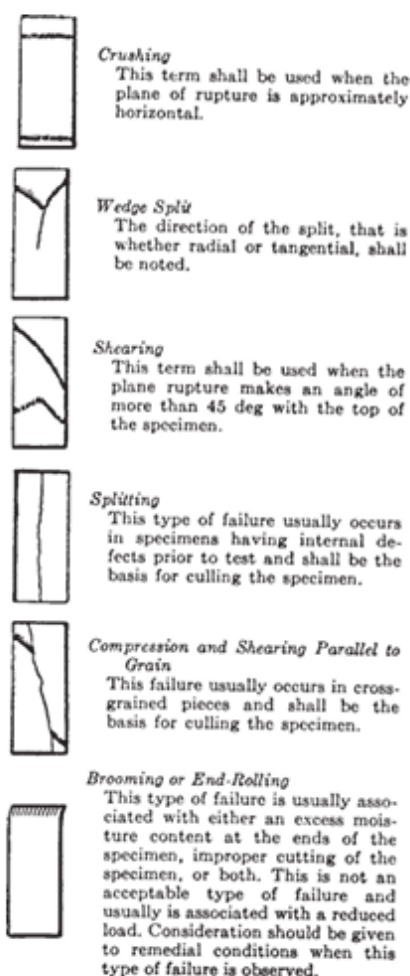


FIG. 10 Types of Failures in Compression

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).

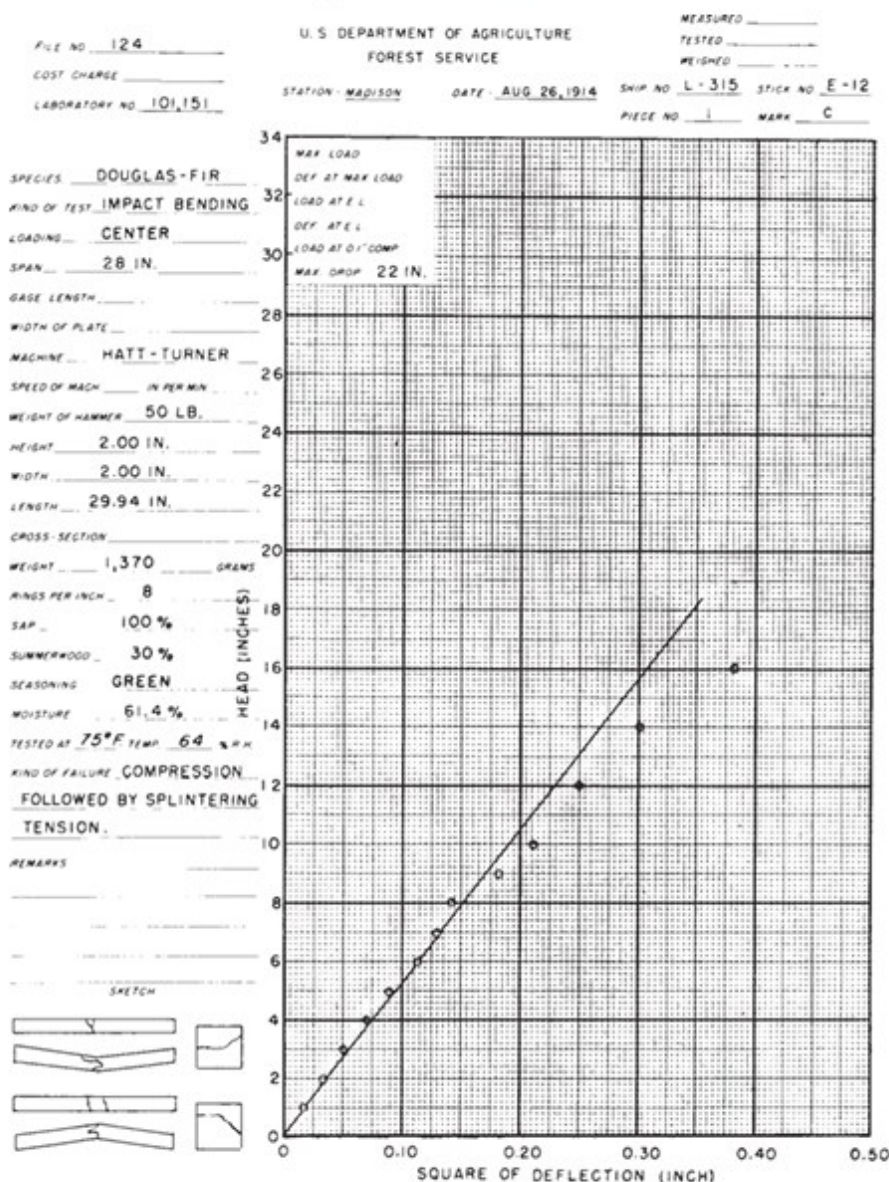
D 143 – 94 (2000)^{e1}


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)^{e1}

IMPACT BENDING										101.151
L-315	F-12									
(Ship No.)	(Ship No.)									
1	C	Station	MADISON	Date	Aug. 20, 1914					128
(Pilot No.)	(Mark)									(Project No.)
Species	Douglas Fir	Grade	Clear	Seasoning	Green					
Dings	8	Sap	100	% Summerwood	30	% Moisture	61.4	%		
Hammer	50	lbs.	Span	28 in.	Length	29.94 in.	Height	2.02 in.	Width	2.00 in.
									Weight	1370 g.
Drop No.	Blow	Dist.	Dist.	Ret.	Drop No.	Blow	Dist.	Dist.	Ret.	Sp. Cr. (in. per in.)
1	1.0	0.13	0.017		11	12.0	0.50	0.250		0.698
2	2.0	0.18	0.032		12	14.0	0.55	0.302		0.432
3	3.0	0.22	0.048		13	16.0	0.62	0.384		10.610
4	4.0	0.26	0.068		14	18.0	0.67	0.593		1776
5	5.0	0.30	0.090		15					3.51
6	6.0	0.34	0.116		16					22 in.
7	7.0	0.36	0.130		17					0.010
8	8.0	0.38	0.144		18					7.88
9	9.0	0.43	0.185		19					0.39
10	10.0	0.46	0.212		20					

Failure: Compression Followed by Splintering Tension.

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

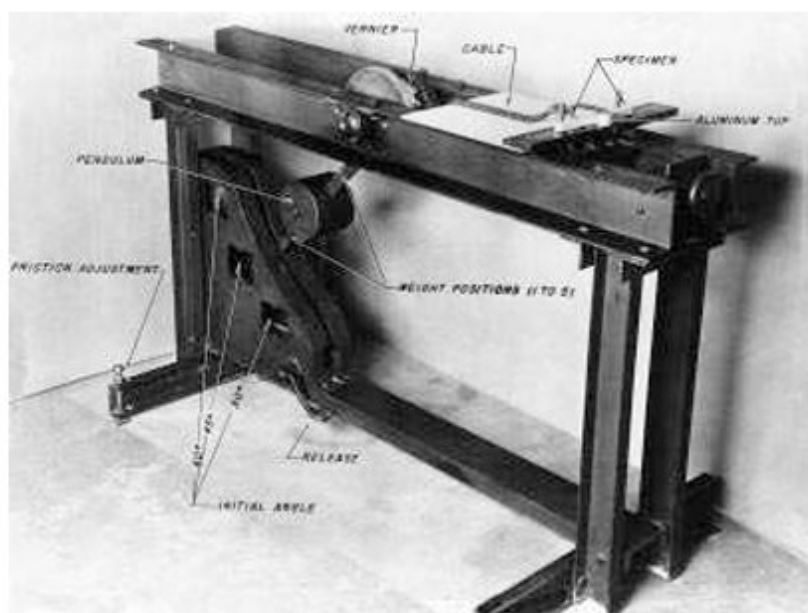


FIG. 15 Toughness Test Assembly

13. Hardness

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

13.2 *Procedure*—Use the modified ball test with a “ball” 0.444 in. (11.3 mm) in diameter for determining hardness (Fig. 19). The projected area of the ball on the test specimen is 1 cm². Record the load at which the ball has penetrated to one half its diameter, as determined by an electric circuit indicator or by the tightening of the collar against the specimen.

13.3 *Number of Penetrations*—Two penetrations shall be made on a tangential surface, two on a radial surface, and one

on each end. The choice between the two radial and between the two tangential surfaces shall be such as to give a fair average of the piece. The penetrations shall be far enough from the edge to prevent splitting or chipping (Note 11).

NOTE 11—See Fig. 20 for a sample data and computation sheet for hardness test.

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

ASTM D 143 – 94 (2000)¹

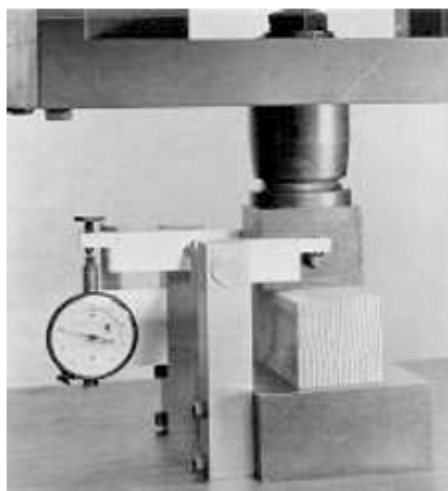


FIG. 17 Compression-Perpendicular-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application and Measurement of Deformation by Means of Averaging-Type Compressometer

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 (1mm)/min (see 22.3).

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

NOTE 14—See Fig. 30 for a sample tension-parallel-to-grain data and computation sheet.

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

17. Tension Perpendicular to Grain

17.1 *Size of Specimens*—The tension-perpendicular-to-grain tests shall be made on specimens of the size and shape in accordance with Fig. 31. The actual width and length at minimum sections shall be measured (see 22.2).

17.2 *Procedure*—Fasten the specimens during test in grips as shown in Figs. 32 and 33. Observe the maximum load only.

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

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

NOTE 15—See Fig. 34 for a sample data and computation sheet for the tension-perpendicular-to-grain test.

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

18. Nail Withdrawal

18.1 *Nails*—Nails used for withdrawal tests shall be 0.0985 in. (2.5 mm) in diameter (Note 16). Bright diamond-point nails shall be used. All nails shall be cleaned before use to remove any coating or surface film that may be present as a result of manufacturing operations. Each nail shall be used once.

NOTE 16—A fivepenny common nail meets this requirement. If difficulty is experienced with high-density woods in pulling the nails without breaking the heads, a sevenpenny cement-coated sinker nail with coating removed by use of a suitable solvent, may be used.

18.2 *Preparation of Specimens*—Nails shall be driven at right angles to the face of the specimen to a total penetration of 1 1/4 in. (32 mm). Two nails shall be driven on a tangential surface, two on a radial surface, and one on each end. The choice between the two radial and two tangential surfaces shall be such as to give a fair average of the piece. On radial and tangential faces, the nails shall be driven a sufficient distance from the edges and ends of the specimen to avoid splitting. In general, nails should not be driven closer than 3/4 in. (19 mm) from the edge or 1 1/2 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).

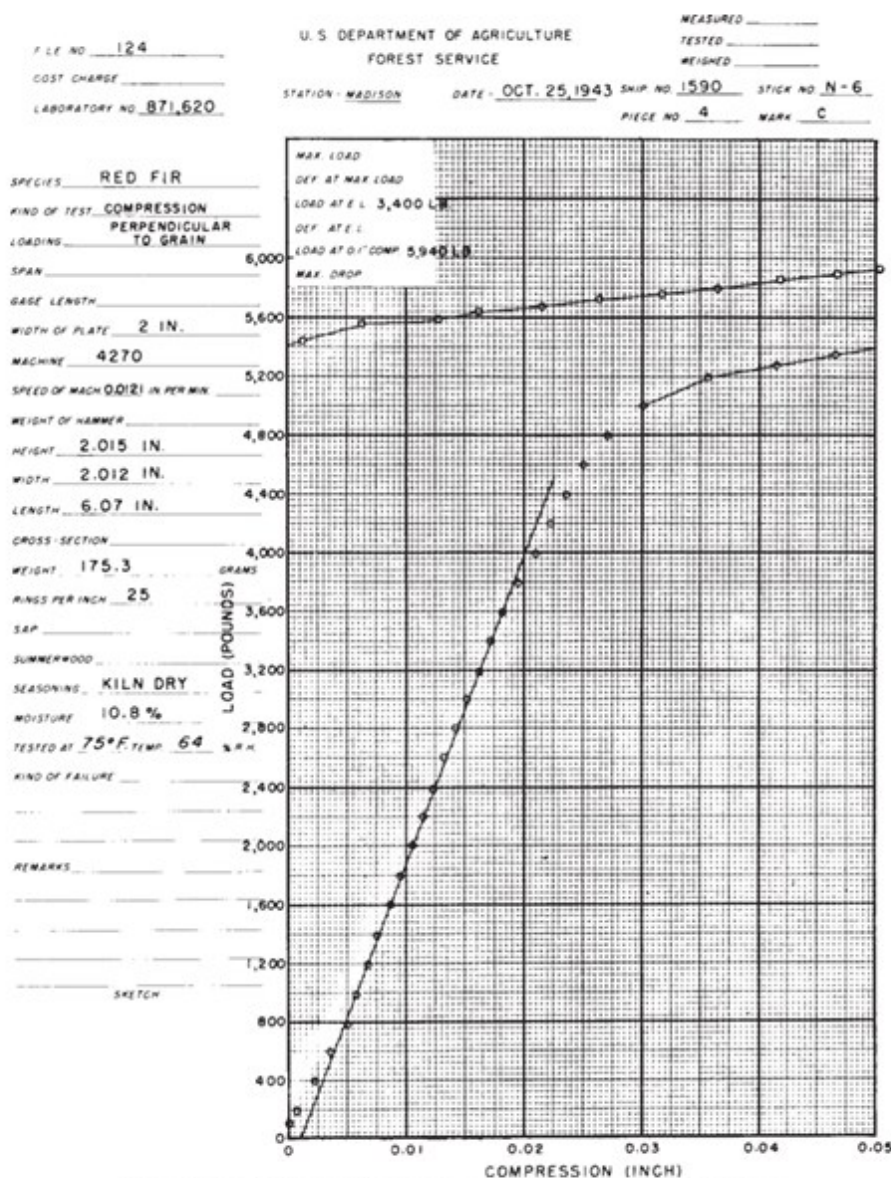
 D 143 - 94 (2000)^{e1}


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)^{e1}

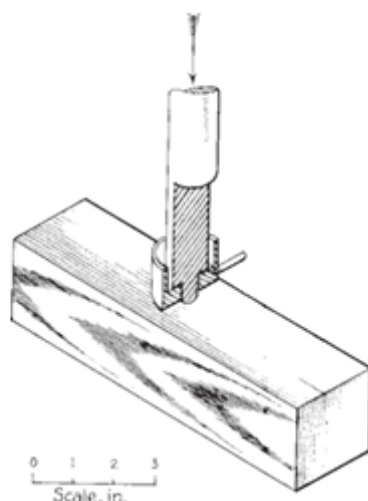


FIG. 19 Diagrammatic Sketch of Method of Conducting Hardness Test

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)^{e1}

HARDNESS

STATION

WED-10P

SPECIES

PACIFIC SILVER FIR

SHIPMENT NO.

1651

PROJECT

SIR 14

SEASONING

GREEN

COST CHANGE

01-3-005

MACHINE SPEED

0.244

LABORATORY NOS

268281A-290A

MACHINE NO

4271

DATE

JAN 31, 1951

MEASURED BY

WEIGHED BY

TESTED BY

TEMP

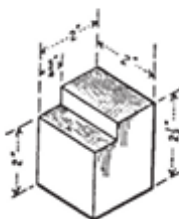
75

REL HUMIDITY

64

STICK NO	DIMENSIONS L" X H" X B"	WEIGHT LB	MOIST %	SP. GR	HARDNESS			REMARKS	SKETCH
					RADIAL SURFACE LB	TANGENTIAL SURFACE LB	END SURFACE LB		
23-N-7-D	6.02X1.996X1.994	241.3	47.5	.416	530	470	465		
					500	515	530		
					AVERAGE	515	492		
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					504				
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
23-E-B-C	6.04X1.992X1.992	273.3	71.1	.406	370	455	510		
					415	435	555		
					AVERAGE	392	445		
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					418				
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									
AVERAGE									
AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL									

FIG. 20 Sample Data and Computation Sheet for Hardness Test



Metric Equivalents			
in.	$\frac{3}{4}$	2	2½
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)^{e1}

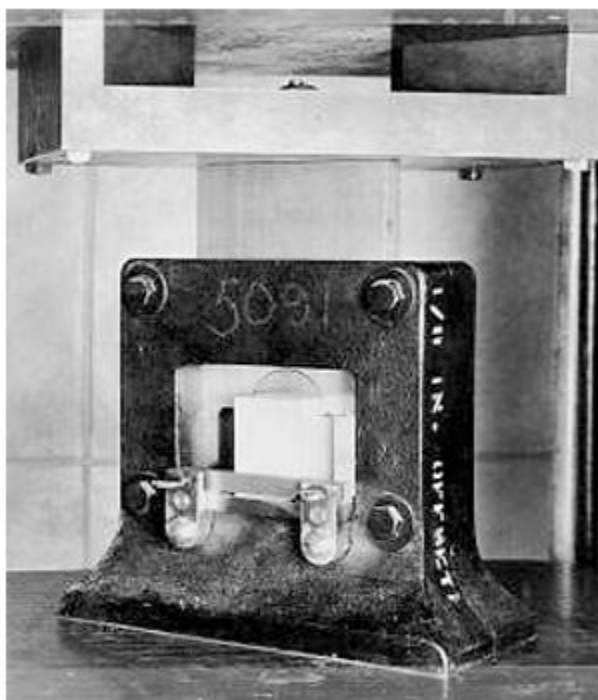


FIG. 22 Shear-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application Through Adjustable Seat to Provide Uniform Lateral Distribution of Load

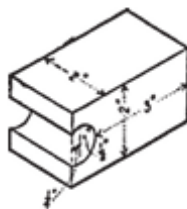


ASTM D 143 – 94 (2000)^{e1}

SHEAR

STATION		SPECIES		SHIPMENT NO.		MEASURED BY	
MDE-168 <td colspan="2"><u>PACIFIC SILVER FIR</u></td> <td colspan="2"><u>1,651</u></td> <td colspan="2"></td>		<u>PACIFIC SILVER FIR</u>		<u>1,651</u>			
PROJECT <u>SIT 1L</u>		SEASONING <u>GREEN</u>		WEIGHED BY _____			
COST CHARGE <u>01-3-005</u>		MACHINE SPEED <u>0.0215</u>		TESTED BY _____			
LABORATORY NOS <u>267024A-029A</u>		MACHINE NO. <u>4,271</u>		TEMP <u>75</u> °F.		REL HUMIDITY <u>60</u> %	
DATE <u>JAN. 16, 1951</u>							
STICK NO.	SHEARING SURFACE	SHEARING AREA L" X W"	MAXIMUM LOAD LB.	SHEARING STRENGTH P.S.I.	MOISTURE CONTENT %	REMARKS	SKETCH
<u>22-N-2-d</u>	<u>R.</u>	<u>2.016 X 2.000</u>	<u>2770</u>	<u>687</u>	<u>40.1</u>		 
<u>22-N-6-d</u>	<u>T.</u>	<u>2.020 X 1.990</u>	<u>2775</u>	<u>688</u>	<u>41.1</u>		 
							 
							 
							 
							 
							 
							 
							 
							 

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



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

FIG. 24 Cleavage Test Specimen

ASTM D 143 – 94 (2000)^{e1}

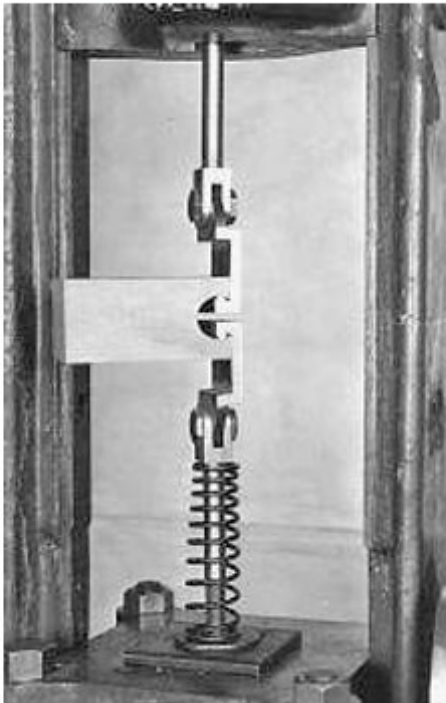
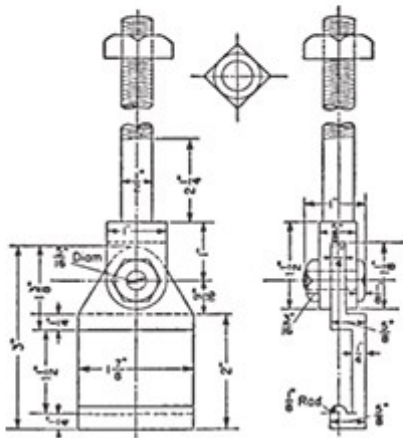


FIG. 25 Cleavage Test Assembly



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
1/16	3	1 1/8	35
3/16	4.8	1 1/2	38
1/4	6	1 3/8	48
5/16	8	2	50
1/2	13	2 1/4	57
9/16	14	3	76
5/8	16	5 1/2	140
1	25	8	200
1 1/8	28		

FIG. 26 Design Details of Grips for Cleavage Test

D 143 – 94 (2000)^{e1}

CLEAVAGE

STATION - MARINE		SHIPMENT NO. 1651					
SPECIES <u>PACIFIC SILVER FIR</u>	SEASONING <u>GREEN</u>						
PROJECT <u>SF IL</u>	MACHINE SPEED <u>0.1110</u>						
COST CHARGE <u>01-3-005</u>	MACHINE NO. <u>4269</u>						
LABORATORY NOS. <u>267036A-D4/A</u>	TESTED BY _____						
DATE <u>JAN. 17, 1951</u>	TEMP <u>75</u> °F. REL HUMIDITY <u>64</u> %						
STICK NO.	CLEARAGE SURFACE	CLEARAGE AREA L' x W"	MAXIMUM LOAD LB.	LOAD PER INCH OF WIDTH LB.	MOISTURE CONTENT %	REMARKS	SKETCH
<u>22-N-6-d</u>	<u>R.</u>	<u>3.03 X 2.00</u>	<u>315</u>	<u>157</u>	<u>36.9</u>		
<u>22-N-6-d</u>	<u>T.</u>	<u>3.03 X 2.00</u>	<u>330</u>	<u>165</u>	<u>38.5</u>		
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							

FIG. 27 Sample Data and Computation Sheet for Cleavage Test

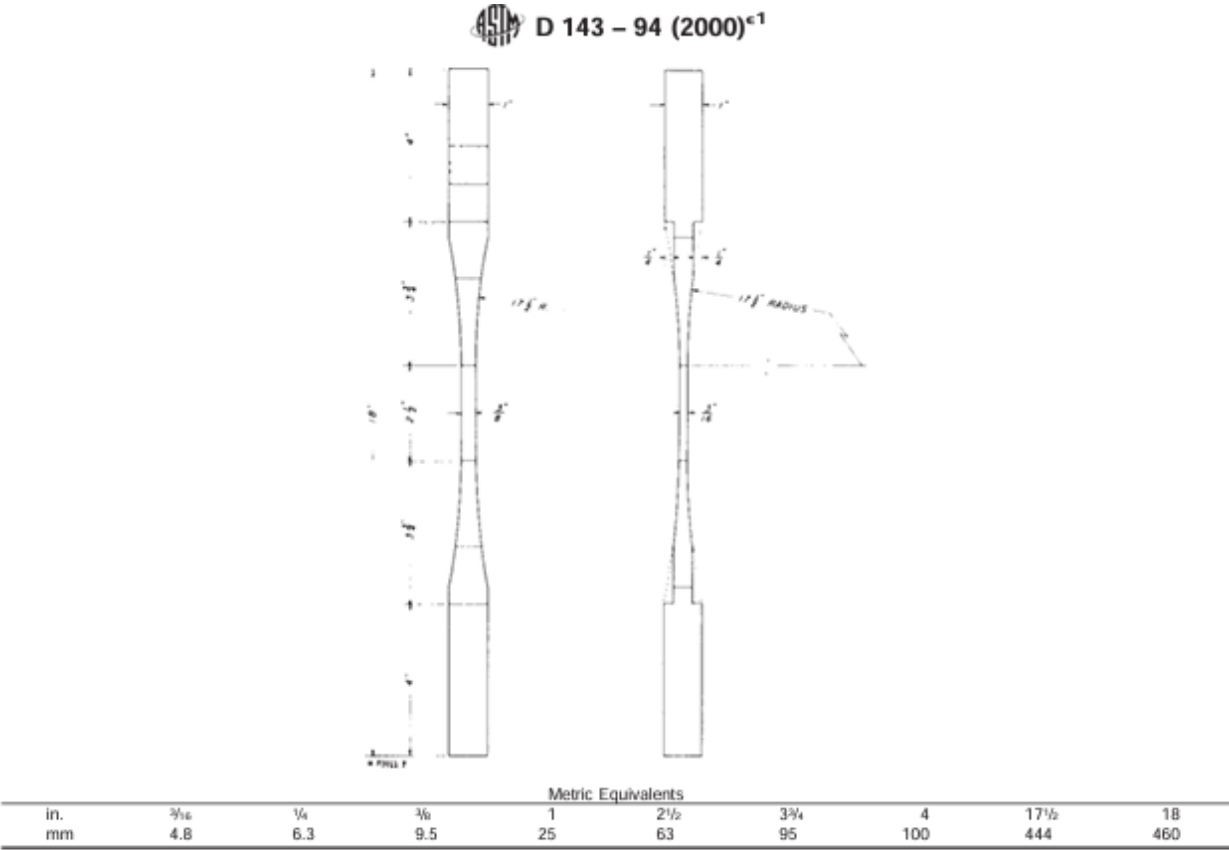


FIG. 28 Tension-Parallel-to-Grain Test Specimen

ASTM D 143 – 94 (2000)^{e1}



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)^{e1}

FILE NO. STY-1L
 COST CHARGE 01-3-005
 LABORATORY NO. 266,895A

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 FOREST SERVICE

STATION - MADISON

DATE - DEC. 28, 1950

SHIP NO. 1651

STICK NO. N-1

PIECE NO. 22

MARK C

SPECIES PACIFIC SILVER FIR

KIND OF TEST TENSION PARALLEL TO GRAIN

LOADING _____

SPAN 2 IN.

GRADE LENGTH _____

WIDTH OF PLATE _____

MACHINE 4713

SPEED OF MACH 0.036 IN PER MIN

WEIGHT OF HAMMER _____

HEIGHT _____

WIDTH _____

LENGTH _____

CROSS-SECTION 0.187 X 0.379

WEIGHT _____ GRAMS

RINGS PER INCH _____

SAP _____

SUMMERWOOD _____

SEASONING GREEN

MOISTURE _____

TESTED AT 75°F TEMP 64 % R.H.

KIND OF FAILURE SPLINTERING

TENSION

REMARKS _____

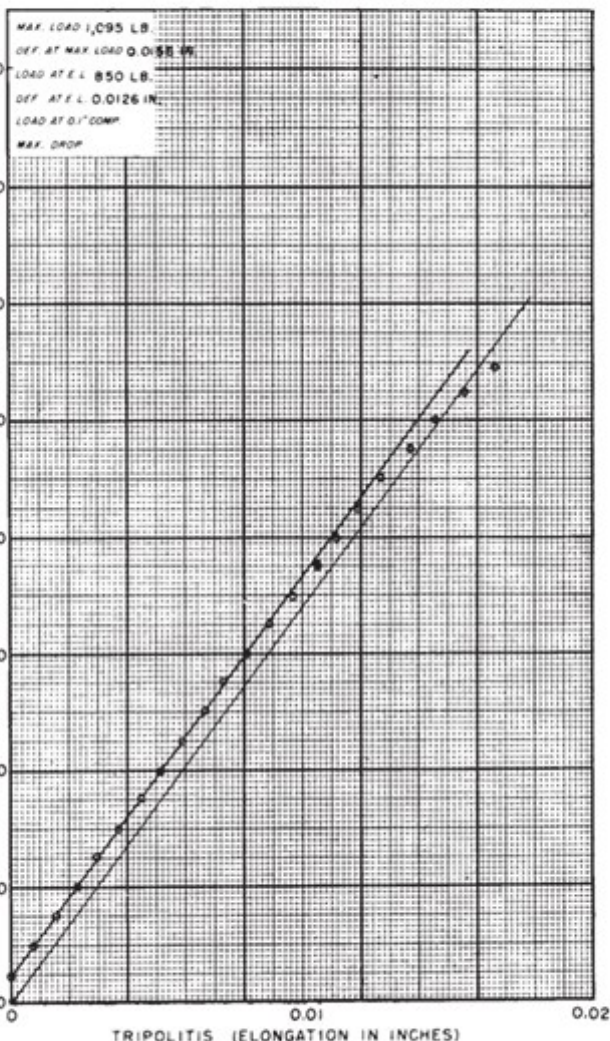
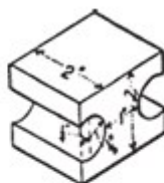


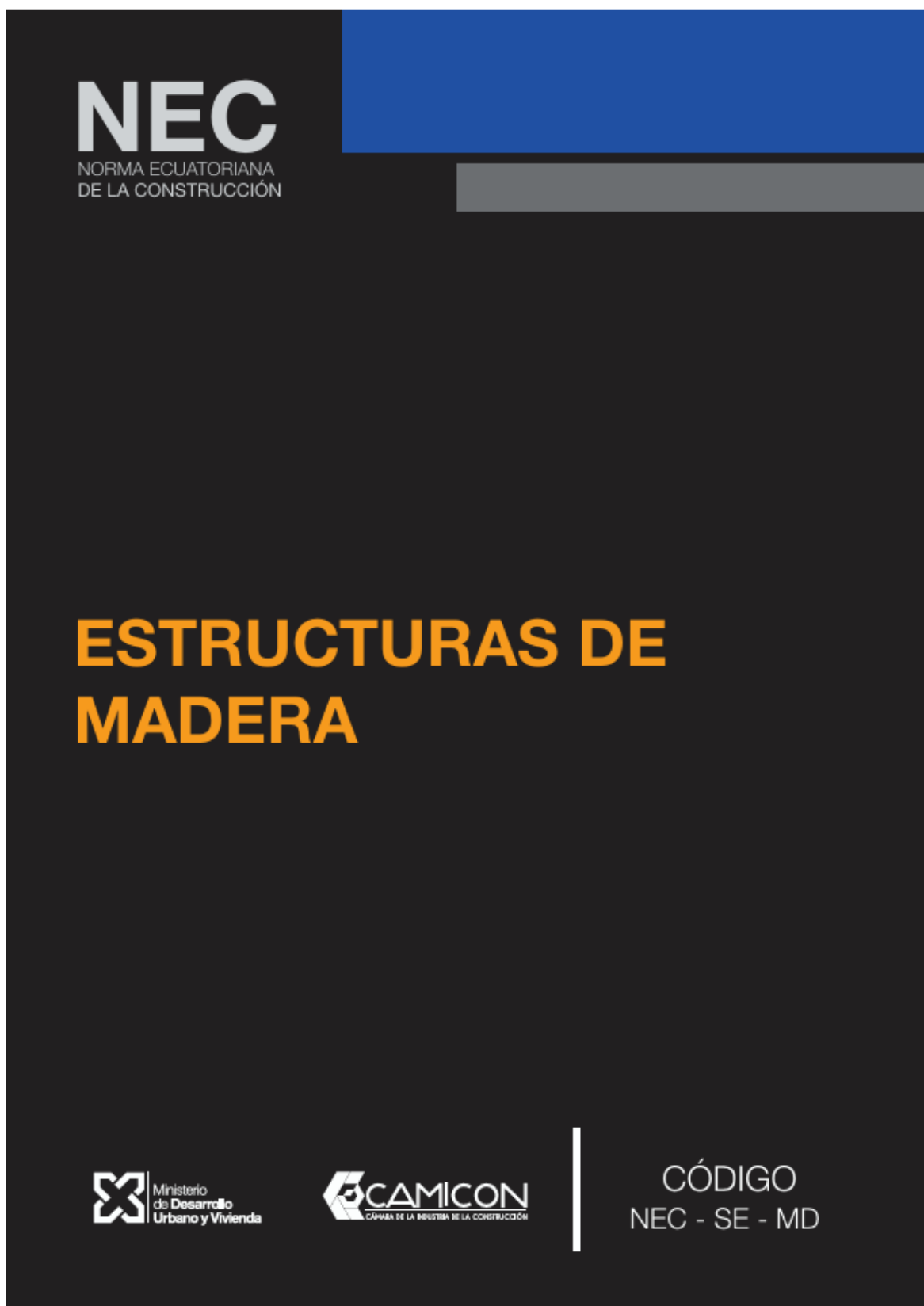
FIG. 30 Sample Data Sheet for Tension-Parallel-to-Grain Test



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

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

Anexo 9. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015).



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	9000

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 solicitación. 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 10. Lugar de extracción de la madera de pino.

