



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE
EUCALIPTO (EUCALYPTUS), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE
TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL
DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015
(NEC 2015)”**

AUTOR: José Luis Sánchez Dahua

TUTOR: Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

AMBATO - ECUADOR

Septiembre - 2021

CERTIFICACIÓN

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 EUCALIPTO (EUCALYPTUS), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)**” elaborado por el señor **José Luis Sánchez Dahua**, portador de cédula de ciudadanía: 150080389-3, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Septiembre 2021

.....
Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **José Luis Sánchez Dahua**, con C.I. 150080389-3, declaro de todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: “**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE EUCALIPTO (EUCALYPTUS), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)**”, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2021



.....
José Luis Sánchez Dahua
C.I: 1500803893
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, Septiembre 2021



José Luis Sánchez Dahua

C.I: 1500803893

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante José Luis Sánchez Dahua, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE EUCALIPTO (EUCALYPTUS), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)”**,

Ambato, Septiembre 2021

Para constancia firman:

Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano Mg.

Miembro Calificador

Ing. Mg. Jorge Javier Guevara Robalino

Miembro Calificador

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis en primer lugar a Dios, que sin él no somos nada, segundo a mis padres Lucio S. y Mercedes D. quienes, con sus consejos, comprensión y apoyo, fueron los que me brindaron su confianza y me impulsaron a no abandonar este sueño de superarme académicamente.

A mi tía Lucia S. a quien se convirtió en mi segunda madre, cuando comencé a vivir en la ciudad para poder realizar mis estudios superiores, quien día a día se preocupó por mi salud y necesidades a lo largo de los últimos años.

A mis hermanos menores Kevin, Cynthia y Melany, que siempre estuvieron acompañándome en todo el camino de mi vida estudiantil universitaria.

José L. Sánchez D.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a mis padres, hermanos y a mi toda mi familia por ser parte en la realización de este trabajo.

A mi primo Lenin quien estuvo presente en este proceso y supo apoyarme.

Además, agradezco a la institución y a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en donde con sus docentes me inculcaron los valores y conocimientos para mi futura vida profesional.

De igual forma, agradezco a mi Tutor de Tesis Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo.

José L. Sánchez D.

INDICE GENERAL DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
INDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
INDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPITULO I	1
MARCO TEORICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación.....	2
1.1.3. Fundamentación Teórica.....	3
1.1.3.1. La madera.....	3
1.1.3.1.1. Estructura de la Madera	5
1.1.3.1.2. Estructura anatómica.....	6
1.1.3.1.3. Estructura Macroscópica.....	6
1.1.3.1.4. Composición química de la madera.....	7
1.1.3.2. Propiedades físicas de la madera.....	8
1.1.3.2.1. Contenido de humedad(CH).....	8
1.1.3.2.2. Densidad de la madera.....	9
1.1.3.2.3. Densidad básica	9
1.1.3.2.4. Densidad verde o saturada.....	9
1.1.3.2.5. Densidad seca al aire	10
1.1.3.2.6. Peso específico	10
1.1.3.3. Propiedades resistentes de la madera	10
1.1.3.3.1. Resistencia a la Compresión Paralela.....	11
1.1.3.3.2. Resistencia a la Compresión Perpendicular.....	11
1.1.3.3.3. Resistencia a la tracción	12
1.1.3.3.4. Resistencia a la Flexión Paralela al gramo	12
1.1.3.3.5. Resistencia a la flexión.....	13

1.1.3.3.6. Resistencia al corte	14
1.1.3.4.1. Módulo de Elasticidad (MOE)	14
1.1.3.4.2. Módulo de corte o Rigidez	15
1.1.3.4.3. Módulo de Poisson	15
1.1.3.5. Madera de construcción estructural	16
1.1.3.5.1. Contenido de Humedad	17
1.1.3.5.2. Durabilidad Natural y Preservación	18
1.1.3.6. Secado de la Madera	18
1.1.3.7. Comportamiento ante el fuego	19
1.1.3.8. Clasificación de la Madera	21
1.1.3.8.1. Clasificación de la madera por su Durabilidad	21
1.1.3.8.2. Clasificación de la madera por su densidad	22
1.1.3.8.3. Clasificación Visual por defectos para madera estructural	23
1.1.3.9. Eucalipto	23
1.1.3.9.1. Requerimientos edáficos	24
1.1.3.9.2. Crecimiento y Morfología	24
1.1.3.9.3. Usos de la Madera de Eucalipto	25
1.1.3.9.4. Propiedades de la madera de eucalipto	25
1.1.3.9.5. Durabilidad	25
1.1.3.9.6. Trabajabilidad	25
1.1.3.9.7. Propiedades físicas y mecánicas del Eucalipto	26
1.1.3.10. Cultivo	26
1.1.3.10.1. Planificación del Cultivo	26
1.1.3.11. Trabajos previos a la plantación	27
1.1.3.11.1. Infraestructura, limpieza y preparación	27
1.1.3.12. Trabajo en los diferentes suelos	29
1.1.3.13. Densidad de plantación	30
1.1.4. Ensayos	31
1.1.4.1. Ensayo de resistencia a la flexión de la madera	31
1.1.4.2. Cálculos del ensayo a flexión axial	32
1.1.4.3. Cálculos de Ensayos a Flexión	34
1.1.4.4. Ensayo de resistencia a la tracción paralela de la madera	36
1.1.4.5. Cálculos del ensayo a tracción	38
1.1.4.6. Norma ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015)	39
1.1.4.6.1. NEC 2015 Capítulo 8 (Estructuras de Maderas)	40
1.1.5. Hipótesis	42
1.2. Objetivos	42
1.2.1. Objetivo General	42
1.2.2. Objetivos Específicos:	42
CAPÍTULO II	43
METODOLOGÍA	43

2.1. Nivel de Investigación.....	43
2.1.1. Investigación Exploratoria (Observación)	43
2.1.2. Investigación Experimental.....	43
2.1.3. Investigación de Laboratorio.....	43
2.1.4. Investigación Aplicada.....	44
2.1.5. Investigación Bibliográfica	44
2.1.6. Población y Muestra.....	44
2.2. Materiales y equipos	49
2.2.1. Materiales.....	49
2.2.2 Equipo	58
2.3. Métodos.....	60
2.3.1. Plan de Recolección de Datos	60
CAPITULO III.....	69
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	69
3.1.1. Contenido de Humedad.....	69
3.1.2. Resultados de ensayos a flexión.....	75
3.1.3. Resultados del ensayo a tracción.....	95
3.2. Cálculos típicos	116
3.3. Verificación de la Hipótesis	118
CAPITULO IV	119
Conclusiones y Recomendaciones	119
4.1. Conclusiones	119
4.2. Recomendaciones.....	122
BIBLIOGRAFÍA.....	123
ANEXOS.....	125
Anexo 1: Fotografías.....	125
Anexo 2: Tabla de Resultados y Código QR para acceder a Manuales de Ensayos..	127
Anexo 3: Norma ASTM D 143.....	128

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Estructura de la madera.....	5
Figura 2.	Estructura macroscópica de la madera.....	7
Figura 3.	Gráfica del % de elementos de la madera.....	8
Figura 4.	Direcciones Ortogonales de la madera	11
Figura 5.	Curva esfuerzo-Deformación para maderas latifoliados	12
Figura 6.	Curva típica carga-deflexión para flexión	13
Figura 7.	Sección sometida a flexión	13
Figura 8.	Madera de construcción estructural	17
Figura 9.	Secado de madera al aire libre	19
Figura 10.	Comportamiento de la madera ante el fuego.....	20
Figura 11.	Arboles de eucalipto.....	24
Figura 12.	Tipos de Fallas en Flexión Estática.....	32
Figura 13.	Representación del ensayo a flexión	33
Figura 14.	Diagrama del comportamiento a esfuerzos de la Viga.....	33
Figura 15.	Diagrama de carga y momento	33
Figura 16.	Centro de Inercia	34
Figura 17.	Dimensiones de la probeta	37
Figura 18.	Fallas a tensión paralela a la fibra	37
Figura 19.	Sitio de muestras de la Ciudad de Pelileo	45
Figura 20.	Sitio de las muestras de la Ciudad de Ambato	45
Figura 21.	Sitio de las muestras de la Ciudad de Baños.....	46
Figura 22.	Sitio de las muestras de la Ciudad de Quero.....	46
Figura 23.	Sitio de las muestras de la Ciudad de Quero.....	47
Figura 24.	consiguió las muestras de la Ciudad de Píllaro.....	47
Figura 25.	Zonificación de Recolección de eucalipto en la provincia de Tungurahua.....	48
Figura 26.	Probetas a tracción	49
Figura 27.	Probetas a Flexión.....	50
Figura 28.	Máquina de Ensayo a tracción	58
Figura 29.	Máquina de compresión SHIMADZU CONCRETO 2000X.....	59
Figura 30.	Calibrador.....	60
Figura 31.	Midiendo probetas con calibrador.....	62
Figura 32.	Tomando medidas con flexómetro.....	63
Figura 33.	Colocando los apoyos para el ensayo	63
Figura 34.	Colocando Probeta de madera.....	64
Figura 35.	Encerando las deformaciones.....	64
Figura 36.	Encerando las Cargas	65
Figura 37.	Iniciando el ensayo.....	65
Figura 38.	Probeta levemente flexionada por la aplicación de carga constante.	66
Figura 39.	Falla por rotura de probeta	66
Figura 40.	Tomando medidas de probetas a tracción	67
Figura 41.	Calibración de la máquina por medio del computador integrado.	67

Figura 42.	Probeta previamente al ensayo, ajustado las mordazas.....	68
Figura 43.	Probeta con fractura por esfuerzos aplicados.....	68
Figura 44.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	76
Figura 45.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	76
Figura 46.	Módulo Elástico calculado.....	77
Figura 47.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria.....	77
Figura 48.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	79
Figura 49.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	79
Figura 50.	Módulo Elástico calculado.....	80
Figura 51.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria.....	80
Figura 52.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	81
Figura 53.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	82
Figura 54.	Módulo Elástico calculado.....	82
Figura 55.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria.....	83
Figura 56.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	84
Figura 57.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	85
Figura 58.	Módulo Elástico calculado.....	85
Figura 59.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria.....	86
Figura 60.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	87
Figura 61.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	88
Figura 62.	Módulo Elástico calculado.....	88
Figura 63.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria.....	89
Figura 64.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	90
Figura 65.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	91
Figura 66.	Módulo Elástico calculado.....	91
Figura 67.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria.....	92
Figura 68.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	93
Figura 69.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	94
Figura 70.	Módulo Elástico calculado.....	94
Figura 71.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria.....	95
Figura 72.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	96
Figura 73.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	97
Figura 74.	Módulo Elástico calculado.....	97
Figura 75.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria.....	98
Figura 76.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	99
Figura 77.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	100
Figura 78.	Módulo Elástico calculado.....	100
Figura 79.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria.....	101
Figura 80.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	102
Figura 81.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	103
Figura 82.	Módulo Elástico calculado.....	103
Figura 83.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria.....	104

Figura 84.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	105
Figura 85.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	106
Figura 86.	Módulo Elástico calculado.....	106
Figura 87.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria	107
Figura 88.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	108
Figura 89.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	109
Figura 90.	Módulo Elástico calculado.....	109
Figura 91.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria	110
Figura 92.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	111
Figura 93.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	112
Figura 94.	Módulo Elástico calculado.....	112
Figura 95.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria	113
Figura 96.	Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas	114
Figura 97.	Gráfica de Esfuerzo Máximos.....	115
Figura 98.	Módulo Elástico calculado.....	115
Figura 99.	Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria.....	116

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las maderas de acuerdo a su uso.....	22
Tabla 2. Características Edafoclimáticas	23
Tabla 3. Propiedades físicas y mecánicas del Eucalipto	26
Tabla 4. Número de probetas para los ensayos de tracción y flexión.	48
Tabla 5. Probetas a Flexión (Baños)	50
Tabla 6. Probetas a Tracción (Baños)	51
Tabla 7. Probetas a Flexión (Pelileo)	51
Tabla 8. Probetas a Tracción (Pelileo)	52
Tabla 9. Probetas a Flexión (Quero)	52
Tabla 10. Probetas a Tracción (Quero)	53
Tabla 11. Probetas a Flexión (Cevallos)	53
Tabla 12. Probetas a Tracción (Cevallos)	54
Tabla 13. Probetas a Flexión (Ambato)	54
Tabla 14. Probetas a Tracción (Ambato)	55
Tabla 15. Probetas a Flexión (Píllaro).....	56
Tabla 16. Probetas a Tracción (Píllaro).....	56
Tabla 17. Probetas a Flexión (Patate)	57
Tabla 18. Probetas a Tracción (Baños)	57
Tabla 19. Plan de Recolección de datos.....	60
Tabla 20. Plan de Recolección de Datos.....	61
Tabla 21. Contenido de Humedad de Pelileo.....	69
Tabla 22. Contenido de Humedad Baños.....	70
Tabla 23. Contenido de Humedad Patate.....	71
Tabla 24. Contenido de Humedad Píllaro.....	72
Tabla 25. Contenido de Humedad Quero.....	73
Tabla 26. Contenido de Humedad Cevallos.....	73
Tabla 27. Ensayo a Flexión de Baños	75
Tabla 28. Resultados a Flexión en Pelileo	78
Tabla 29. Ensayos a Flexión de Patate.....	80
Tabla 30. Ensayos a Flexión de Píllaro.....	83
Tabla 31. Ensayos a Flexión de Cevallos.....	86
Tabla 32. Ensayos a Flexión de Quero.....	89
Tabla 33. Ensayos a Flexión de Ambato.....	92
Tabla 34. Ensayo a Tracción de Baños	98
Tabla 35. Ensayo a tracción de Píllaro.....	104
Tabla 36. Ensayo a tracción de Ambato	107
Tabla 37. Ensayo a tracción de Pelileo	110
Tabla 38. Ensayo a Tracción de Quero	113

RESUMEN

El trabajo tiene como principal objetivo brindar información de las propiedades mecánicas del eucalipto (flexión y tracción paralelo a la fibra) de la provincia de Tungurahua y dar a conocer los valores obtenidos de esfuerzos y módulos de elasticidad, los cuales serán la base para futuros diseños de elementos estructurales y no estructurales en madera.

Primero se realizó una investigación bibliográfica de las propiedades de la madera e información relevante del eucalipto y sus usos. Además, se efectuó un estudio de observación de los sectores donde se encontraron puntos estratégicos de extracción y procesamiento de madera de eucalipto, los cantones donde se obtuvo las muestras fueron, Baños, Ambato, Quero, Pelileo, Pillaro, Cevallos y Patate. Se realizaron ensayos de laboratorio siguiendo sus normativas respectivas (Norma ASTM D 143-94), las cuales nos ayudaron a determinar los esfuerzos máximos y el módulo de elasticidad tanto a flexión axial como a tensión paralelo a la fibra de cada muestra de los cantones nombrados.

Al realizar este proyecto se desglosaron datos específicos, que se tiene de la madera estructural a partir de lo englobado en las categorías expuestas en las tablas de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015 capítulo 8), donde solo contamos con valores referenciales mas no específicos, estos ayudaron a tener una nueva base de datos enfocada a la madera de eucalipto, diferenciándole de las otras maderas estructurales conocidas.

Palabras Claves: Tracción, Flexión, madera estructural, eucalipto, NEC 2015

ABSTRACT

The main objective of this work is to provide information on the mechanical properties of eucalyptus (bending and tension parallel to the fiber) from the province of Tungurahua and to present the values obtained for stresses and modulus of elasticity, which will be the basis for future designs of structural and non-structural wood elements.

First, a bibliographic research on the properties of wood and relevant information on eucalyptus and its uses was carried out. In addition, an observation study was conducted in the sectors where strategic points of extraction and processing of eucalyptus wood were found. The cantons where samples were obtained were Baños, Ambato, Quero, Pelileo, Pillaro, Cevallos and Patate. Laboratory tests were carried out following their respective standards (ASTM D 143-94), which helped us to determine the maximum stresses and the modulus of elasticity both in axial bending and in tension parallel to the fiber of each sample from the cantons mentioned.

In carrying out this project, specific data was broken down, which we have of structural wood from the categories set out in the tables of the Ecuadorian Construction Standard (NEC 2015 chapter 8), where we only have reference values but not specific, these helped to have a new database focused on eucalyptus wood, differentiating it from other known structural wood.

Key words: Tension, flexure, structural timber, eucalyptus, NEC 2015.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

De acuerdo al estudio realizado por Claudia Lorena Rivas Boch, Juan Carlos Joachin Bautista en la Universidad San Carlos de Guatemala sobre “Las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Peten”, la investigación determinó que las cuatro especies en estudio presentan características y propiedades diferentes. Sin embargo, en cuanto a resistencia que presentan algunas pruebas, muestran valores similares, es por tal motivo que estas especies fueron clasificadas con una densidad alta. [1]

Según el estudio realizado en la Universidad Central del Ecuador, “Diseño de elementos utilizando madera laminada”, desarrollado por el Ing. Recalde Vásquez Franklin Rene se llegaron a las siguientes conclusiones: se establecieron los parámetros de diseño estructural para elementos laminada, teniendo resultaos valores de diseño mayores a los establecidos en la clasificación resiente. [2]

En la investigación realizada por el Ing. Álvaro Pérez Ortega sobre “La comparación de ensayos a compresión de a madera estructural mediante norma UNE y norma ASTM”, se estableció que la utilización de la Norma ASTM hay diferencias notables de resultados, de acuerdo a la resistencia, compresión, módulo de elasticidad y variables significativas en la resistencia máxima en comparación de la Norma UNE, dando a entender que es más exacta la norma ASTM [3]

De acuerdo al artículo “Mechanical Properties of Small Clear Specimens of Eucalyptus Globulus Labill” realizado por Jorge Crespo, Almudena Majano Majano, Antonio José Lara Bocanegra y Manuel Guita, llegaron a la conclusión luego de realizadas las pruebas mecánicas, los valores de tensiones ultimas y módulo de elasticidad fueron altos en comparación con maderas blandas, destacando el gran potencial del eucalipto para aplicaciones estructurales, las mejores correlaciones se encontró en los ensayos a flexión y tensión paralela a la fibra y las correlaciones más bajas en los ensayos de compresión. [4]

1.1.2. Justificación

La utilización de la madera como un sistema constructivo o elemento estructural ha acompañado al hombre a lo largo de toda la historia. Al principio junto a la piedra, era el principal elemento constructivo. Posteriormente aparecieron nuevos materiales que relegaron su utilización. Actualmente la evolución de su tecnología permite obtener productos estructurales más fiables y económicos y un mejor entendimiento, tanto desde el punto de vista estructural como ecológico y medioambiental, permite competir con el resto de los materiales estructurales convencionales. [5]

La madera es un material que como todos ya sabemos es un recurso forestal sostenible que ha sido empleado durante mucho tiempo en la construcción, la madera ofrece propiedades térmicas, acústicas, resistencia, belleza, calidad y salud. [6]

Las experiencias norteamericanas indican que es posible reducir el coste de las construcciones de manera significativa utilizando sistemas de estructuras ligeras y tableros, lo cual puede ser aplicado a casas unifamiliares como a construcciones verticales. Este sistema tiene la ventaja de ser una técnica de construcción sencilla que permite el acabado en poco tiempo.

Conservar la madera, cumpliendo con las necesidades de la ingeniería y el desarrollo de su campo tecnológico. Da como consecuencia de que debe haber métodos apropiados para

agilizar y optimizar el uso de madera, especialmente en la aplicación de estructuras de edificios sin ignorar los requisitos de construcción. [7]

Para hacer la construcción con madera más competitiva en Ecuador e incrementar el uso de la madera a un nuevo nivel, se necesita un esfuerzo conjunto y acciones en diferentes campos desde la investigación forestal, ingeniería civil y el comercio, las mismas que necesitan ser sincronizada para lograr un objetivo común. Esta iniciativa pretende fortalecer y armonizar las actividades de investigación sobre las características de la madera, especialmente sus propiedades mecánicas, para hacer de la construcción en madera más exitoso en Ecuador.

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1. La madera

La madera es una materia prima de origen vegetal que se encuentra bajo la corteza de los troncos por lo que es considerado un recurso natural renovable, dotado de propiedades y características excelentes para usos estructurales y acabados. Entre sus principales cualidades destaca su buena resistencia y su ligereza, siendo además su proceso de transformación para su uso en la construcción bien sencillo, si se compara con distintos métodos de obtención de otros materiales. [6]

Ha sido empleado por el hombre desde hace miles de años, primero como combustible para producir fuego y más tarde para la fabricación de utensilios. Posteriormente también se empleó en la construcción. En sus primeras aplicaciones la madera carecía de elaboración más allá del descortezado y modelado para adecuarlas a las dimensiones requeridas. [3]

Con el paso del tiempo, la madera fue adquiriendo un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones. La aparición de la tecnología permitió una producción más compleja

adecuándola a los distintos usos para los que era requerida. Así pues, aparecieron todo tipo de instrumentos específicos como sierras, tornos, lijas, etc. Que permitieron obtener un producto con mejor acabado.

Además de estos instrumentos y sus posteriores evoluciones a maquinaria automatizada, comenzaron aparecer nuevos tratamientos físico-químico que la convirtieron en un material no precario y permitieron la creación de nuevos derivados de la madera como tableros contrachapados, tableros de fibra, pasta de papel, etc. Estos tratamientos también permitieron la utilización de madera maciza bajo condiciones de uso que llevaban a su deterioro y pérdida de cualidades, como la presencia de agentes bióticos, presencia de humedad e incendios. [3]

En el ámbito de la construcción, la madera no goza de una buena imagen en los países del sur de Europa, asociándola generalmente a una limitada durabilidad y escasa resistencia al fuego. En el norte de Europa y en la región alpina su uso es algo mayor como elemento estructural para la construcción de pequeñas casas. Es en Norteamérica donde tiene una posición más fuerte, si comparamos el consumo, en Norteamérica es de 220kg per cápita frente a los 58 kg per cápita de la Unión Europea. [3]

La razón se basa principalmente en la ligereza de las construcciones en madera considerándose este como un aspecto muy competitivo en el mercado de la construcción que tradicionalmente ha sido mucho más eficiente y dirigido al consumidor que en Europa. [8]

La silvicultura, extracción de madera y actividades relacionadas en una industria que se ha venido desarrollando en el país con el tiempo. Las estadísticas manejadas por el Banco

Central del Ecuador (BCE), indican un incremento en los últimos años posicionándolo entre las 50 industrias a nivel nacional y con \$1.365,5 millones (1,3% PIB). [9]

1.1.3.1.1. Estructura de la Madera

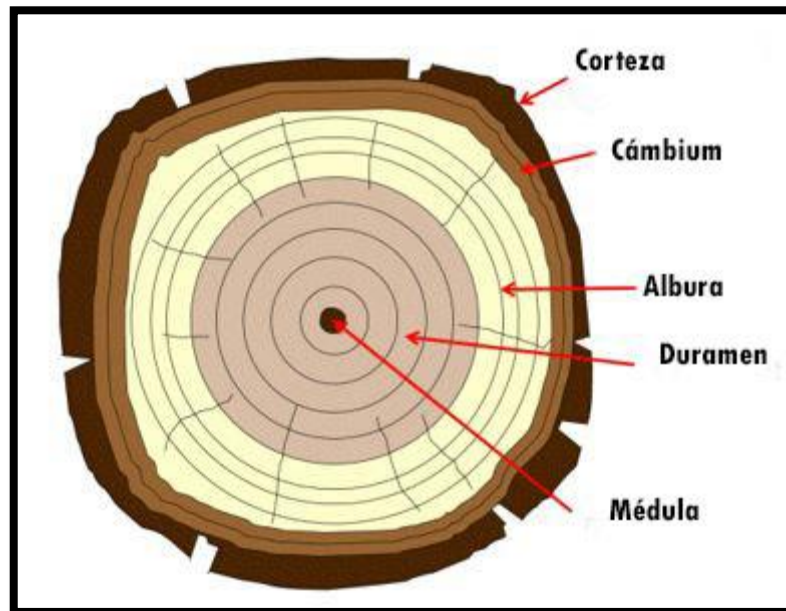


Figura 1. Estructura de la madera

Fuente: José Sánchez

El tronco en un árbol, la sección transversal del tronco presenta las siguientes partes:

- Corteza exterior: Es la cubierta que protege al árbol de los agentes atmosféricos, en especial de la insolación.
- Corteza interior: Tiene por finalidad conducir el alimento elaborado en las hojas hacia las ramas, troncos y raíces.
- Cambium: Tejido entre la corteza interior y la madera.
- La madera o xilema: Es la parte maderable o leñosa del tronco.
- La albura: Es la parte exterior de la xilema cuya función principal es la de conducir el agua y sales minerales de las raíces a las hojas.

- El duramen: Tiene como función proporcionar resistencia para el soporte del árbol.
- Médula: Es la parte central de la sección del tronco y está constituida por tejido parenquimático. [10]

1.1.3.1.2. Estructura anatómica

La parte maderable del árbol tiene 3 funciones:

- Conducción del agua
- Almacenamiento de sustancias de reserva
- Resistencia mecánica.

Para cumplir con estas funciones la madera se distingue 3 tipos de tejidos:

- Tejido vascular (de conducción)
- Tejido parenquimático (de almacenamiento)
- Tejido fibroso (de resistencia)

1.1.3.1.3. Estructura Macroscópica

Es observada a simple vista o con la ayuda de una lupa de 10 aumentos; se observa las siguientes características:

- Anillos de crecimiento. - son capas de crecimiento tiene forma circular, el último anillo se extiende desde el extremo inferior del árbol hasta la copa.
- Radios Medulares. - son líneas que van desde el interior hacia el exterior del árbol, siguiendo los radios de círculo definido por el tronco.
- Parénquima longitudinal. – Formado por tejido parenquimático constituye parte del sistema longitudinal del tronco. [10]



Figura 2. Estructura macroscópica de la madera
Fuente: José Sánchez

1.1.3.1.4. Composición química de la madera

La madera está constituida por los siguientes elementos:

- Carbono (C) 49%
- Hidrógeno (H) 6%
- Oxígeno (O) 40%
- Nitrógeno (N)
- Minerales 1%

Las combinaciones de estos elementos forman los siguientes componentes de la madera: Celulosa (40-60%), hemicelulosa (5-25%), extractivos (1-5%) y lignina (20-40%). [10]

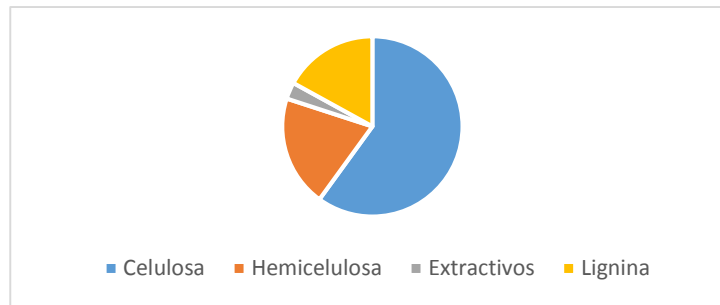


Figura 3. Gráfica del % de elementos de la madera

Fuente: José Sánchez

1.1.3.2. Propiedades físicas de la madera

La madera procedente de varios tipos de árboles tiene diferentes propiedades. Incluso la madera de un árbol tiene diferentes propiedades en comparación con el final de su base.

La propiedad de la madera depende de muchos factores: tipo de árbol, condiciones ambientales y del terreno en el cual ha crecido, naturaleza y composición de la madera.

La madera al ser un cuerpo sólido, homogéneo y poroso tiene la capacidad de resistir solicitaciones externas que tiene a deformar o alterar sus dimensiones.

En tecnologías de la madera, se necesita un conocimiento profundo sobre sus propiedades, como componente estructural

1.1.3.2.1. Contenido de humedad(CH)

Cuando se expone la madera al medio ambiente, empieza a perder agua iniciándose el proceso de secado. En el transcurso del secado se pierde primero el agua libre y después el agua higroscópica, el agua de constitución no se pierde sino por combustión de la madera. [10]

El contenido de humedad (CH) de la madera es la cantidad de agua que contiene una pieza de madera en un momento dado, que se expresa como un porcentaje de su peso anhidro.

$$CH\% = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso anhidro}}{\text{Peso anhidro}} \times 100$$

El contenido de humedad de la madera es uno de los parámetros más importantes a considerar los distintos propósitos en que será utilizada, actualmente se utilizan secadores industriales para satisfacer estrictamente las exigencias de los mercados internacionales que se orientan crecientemente hacia la madera seca. [11]

1.1.3.2.2. Densidad de la madera

A relación que existe entre masa y volumen de una pieza de madera, a un determinado contenido de humedad. En el Sistema Internacional se expresa en gr/cm³ o kg/m³.

Según las condiciones de humedad de la madera, se conocen algunos tipos de densidad

1.1.3.2.3. Densidad básica

Es la relación entre el peso de la madera en estado anhidro y su volumen en estado verde o saturado (CH mínimo del 30 %). Es un indicativo de las propiedades mecánicas que tiene una madera. Está en la función de la edad, a mayor edad del árbol de donde procede la madera, su densidad aumenta. [12]

1.1.3.2.4. Densidad verde o saturada

Es la relación que exista entre la masa y el volumen de la madera en estado verde o saturado, con un contenido de humedad mayor al 30 %. [12]

1.1.3.2.5. Densidad seca al aire

Relación que existe entre el peso y el volumen de la madera en estado seco al aire, con un contenido de humedad de alrededor al 12 %. [12]

1.1.3.2.6. Peso específico

Por costumbre cuando se usa el sistema métrico se toma la masa con el peso del cuerpo. El peso de la madera es la suma del peso de la parte sólida más el peso del agua. El volumen de la madera es constante cuando está en el estado verde, el volumen disminuye cuando el CH es menor que el PSF y vuelve a ser constante cuando ha alcanzado el estado anhidro o seco de horno. [10]

1.1.3.3. Propiedades resistentes de la madera

En la madera se reconocen tres direcciones principales que pueden considerarse ortogonales entre sí, estas direcciones son la longitudinal, la tangencial y la radial. En la práctica se consideran dos direcciones: la dirección longitudinal o paralela a la fibra y la dirección transversal o perpendicular al grano. [10]

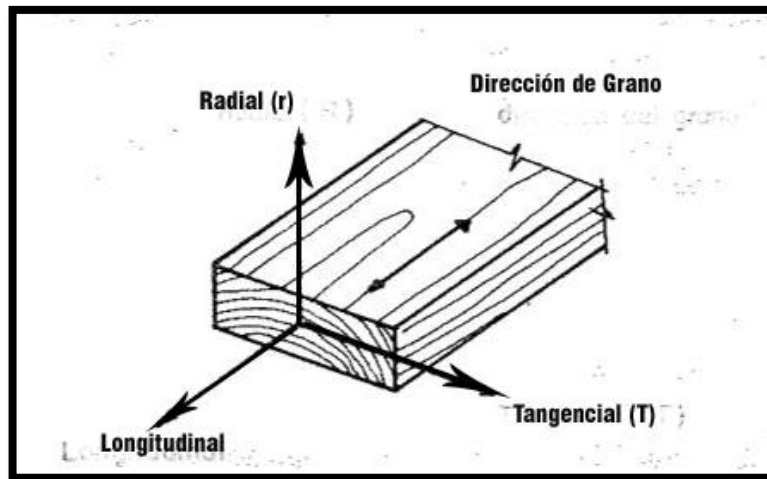


Figura 4. Direcciones Ortogonales de la madera

Fuente: [10]

1.1.3.3.1. Resistencia a la Compresión Paralela

Son los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras. Proviene del hecho que las fibras están orientadas con su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide. La resistencia a la compresión paralela a las fibras de la madera es aproximadamente la mitad que su resistencia a la tracción. [10]

1.1.3.3.2. Resistencia a la Compresión Perpendicular

Bajo este tipo de cargas las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular. Esto permite que se pueda cargar la madera sin que ocurra falla claramente distinguible. La resistencia está caracterizada por el esfuerzo al límite proporcional, varía entre 1/4 a 1/5 del esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela. [10]

1.1.3.3. Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela. El valor típico que caracteriza el esfuerzo de rotura que varía entre 500 y 1500 kg/cm². Para efectos prácticos la resistencia a la tracción perpendiculares es nula. Las influencias de otros defectos característicos de la madera hacen que las resistencias de elementos a escala real puedan ser tan bajos como un 15% del esfuerzo de rotura en tracción en probetas. [10]

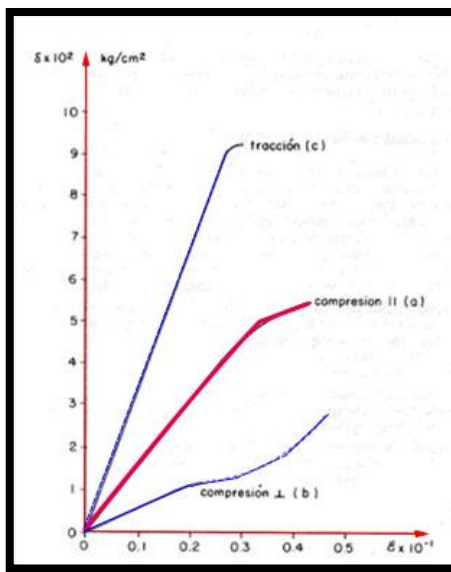


Figura 5. Curva esfuerzo-Deformación para maderas latifoliados

Fuente: [10]

1.1.3.4. Resistencia a la Flexión Paralela al gramo

La diferencia entre la resistencia a la tracción ya a la compresión paralela resulta en un comportamiento característico de las vigas de madera en flexión con ello se incrementan las deformaciones en las zonas comprimida, el eje neutro se desplaza hacia la zona de tracción, lo que a su vez hace aumentar las deformaciones totales, finalmente la pieza se rompe por la tracción. Se presenta una curva típica carga-deformación para maderas

tropicales, en ella se puede apreciar que la carga en el límite proporcional es aproximadamente el 60 % de la carga máxima. [10]

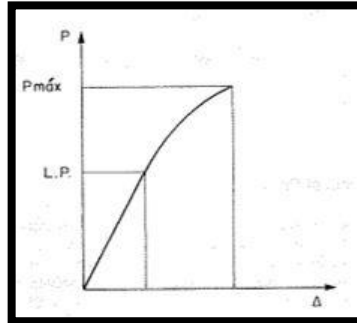


Figura 6. Curva típica carga-deflexión para flexión

Fuente: [10]

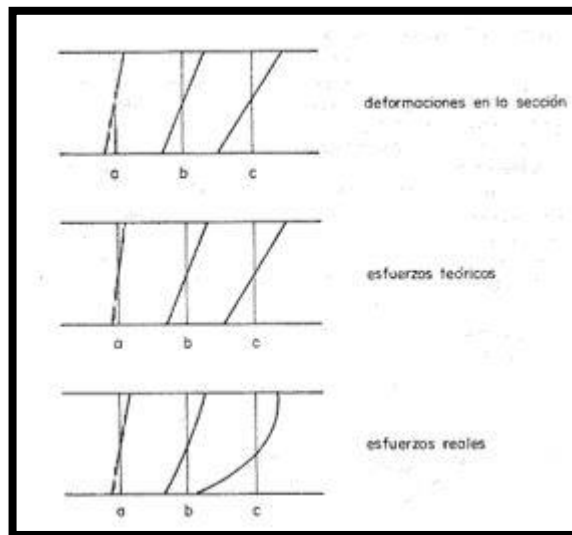


Figura 7. Sección sometida a flexión

Fuente: [10]

1.1.3.3.5. Resistencia a la flexión

La madera presenta una notable resistencia a la flexión, sobre todo si se compara con su densidad. La flexión de una pieza genera tensiones de compresión y de tracción paralelas a la fibra, que adoptan valores máximos en las fibras externas de la pieza y nulos en la fibra neutra. Por tal motivo la madera más se emplea en elementos estructurales como vigas y viguetas. [10]

1.1.3.3.6. Resistencia al corte

Es la capacidad de resistir fuerzas que tienden a que una parte del material se deslice sobre la parte adyacente a ella. Este deslizamiento se debe producir en paralelo a las fibras; perpendiculares a ellas no se produciría la rotura debido a que la resistencia en esta dirección es alta y la madera se rompe antes por otro efecto. [10]

1.1.3.4. Propiedades Elásticas de la Madera

1.1.3.4.1. Módulo de Elasticidad (MOE)

El módulo de elasticidad de la madera puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo deformación un ensayo de compresión paralela. Según los resultados obtenidos en maderas tropicales (3) el MOE en compresión paralela es mayor que el MOE en flexión estática. [10]

Por ejemplo, para una viga simplemente apoyada, con carga uniformemente repartida y sección rectangular uniforme, las deflexiones por flexión y cortes son:

$$\Delta f = \frac{5}{384} \frac{wL^4}{E L} = \frac{15}{96E} \frac{wL^2}{b h} \left(\frac{L}{h}\right)^2$$

$$\Delta c = \frac{1.2}{8} \frac{wL^2}{GA} = \frac{14.4}{96G} \frac{wL^2}{bh}$$

En donde: I= momento de inercia de la sección

A= área de la sección recta

E= MOE

G= módulo de corte

La relación entre Δf y el $\Delta_{total} = \Delta r + \Delta c$ sera

$$\frac{\Delta f}{\Delta_{total}} = \frac{1}{1 + \frac{14.4 E}{15G \left(\frac{L}{h}\right)^2}}$$

1.1.3.4.2. Módulo de corte o Rigidez

Está relacionado con deformaciones o deformaciones con los esfuerzos de cortes o cizallamiento que les dan origen. Existen diferentes valores para este módulo en cada uno de las direcciones de la madera. Los valores varían entre 1/16 y 1/25 del módulo de elasticidad lineal. [10]

1.1.3.4.3. Módulo de Poissón

Es la relación que existe entre deformación lateral y deformación longitudinal. Para el caso de la madera existen en general 6 módulos de Poissón ya que se relacionan las deformaciones en las direcciones longitudinal, radial y tangencial. Se han reportado para maderas coníferas valores del orden de 0.325 a 0.40 para densidades de 0.5 gr/cm³. [10]

1.1.3.5. Madera de construcción estructural

Se denomina así a aquella madera que constituye el armazón estructural de la edificación. Es decir, forma la parte resistente de componentes como muros o paredes, pisos, techos, tales como: pie-derechos, columnas, vigas, cerchas, entre otros. La característica principal de estos elementos es básicamente su resistencia. [10]

Requisitos Generales

Las condiciones que debe satisfacer este material son las siguientes:

1. El material es clasificado como de calidad estructural para lo cual debe cumplir con la Norma de Clasificación Visual por Defectos que se presente en la siguiente sección.
2. Debe ser proveniente de las especies forestales consideradas como adecuadas para construir.
3. Deben ser piezas de madera dimensionadas de acuerdo a las escuadras o secciones.

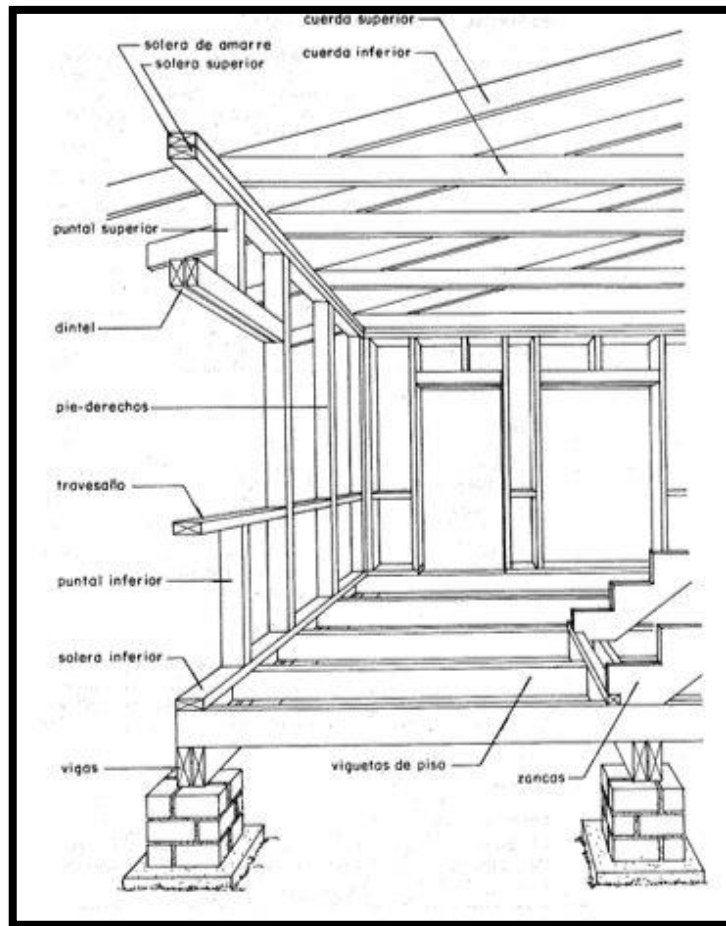


Figura 8. Madera de construcción estructural

Fuente: [10]

Eventualmente cuando los Países hayan incorporado a su normalización los grupos estructurales con sus respectivas especies, la Regla de Clasificación Visual y las secciones o escuadras preferenciales, los usuarios podrán contar con piezas de madera en especies identificables, agrupadas, clasificadas en la zona de producción y almacenadas ya en sus dimensiones definitivas, garantizando un costo apropiado a este material de construcción.

1.1.3.5.1. Contenido de Humedad

Es conveniente construir con madera en estado seco o al contenido de humedad de equilibrio. De esta forma se garantiza la estabilidad dimensional de las piezas y disminuye el riesgo de ataque de hongos e insectos. En este caso deben tomarse precauciones para garantizar: [10]

- Las piezas al secarse mantengan su forma.
- Los elementos de unión estén protegidos contra el ataque corrosivo de madera húmeda.
- Los detalles constructivos permitan a la madera contraerse libremente a medida que se va secando.
-

1.1.3.5.2. Durabilidad Natural y Preservación

Adicionalmente deben aplicarse en el diseño aquellos detalles constructivos destinados a proteger la edificación contra agentes dañinos a la madera. Factores externos como la humedad por ejemplo mal controlado puede deteriorar el material; o propiciar el crecimiento de hongos e insectos que atacan la madera. [10]

1.1.3.6. Secado de la Madera

Aspectos Generales

Antes de la construcción la madera deberá secarse a un contenido de humedad apropiado y tan parecido como sea práctico al contenido de humedad en equilibrio promedio en la cual estará la estructura. La madera estructural debe tener un CH inferior a 19%.

El secado puede ser natural (con buenas prácticas de apilado, ventilación, etc.) o artificial (se aconseja hornos o cámaras de secado). [12]

Recomendaciones

- Si no se sabe de antemano en qué localidad va ser empleada la madera deberá ser secada hasta un porcentaje menor al contenido de humedad de equilibrio que registra esa zona.
- Toda madera empleada en interiores se aconseja secarla al horno.
- La madera secada al aire es apropiada para ser utilizada en elementos en los que las variaciones dimensionales no sean importantes.
- La madera debe limitarse a ser empleada donde se mantenga un alto grado de humedad, o donde la contracción hubiera sido considerada al momento de realizar el proyecto de una construcción. [12]



Figura 9. Secado de madera al aire libre

Fuente: José L. Sánchez Dahua

1.1.3.7. Comportamiento ante el fuego

A pesar de que la madera es un material combustible e inflamable tiende a poseer un comportamiento predecible a lo largo de un incendio. De acuerdo a los ensayos muestran que la progresión de la temperatura o cinética de la pirolisis está influenciada por la cantidad de agua contenida en la madera (maciza o aglomerados).

Se establece que el contenido de humedad para maderas utilizadas en estructuras va del 8 al 13 % y estas no pierden más que en el proceso de pirolisis (destrucción química irreversible de la madera). [13]

En un incendio el calor lo primero que afecta a la madera es hacer perderle humedad y esta va alrededor del 1 al 3%. La madera aumenta su módulo de elasticidad a medida que pierde humedad, por lo que puede aumentar su capacidad de carga en más del 30%. [13]

La madera o al algún material derivado de ella se encuentra expuesto a un incendio generalizado, la superficie expuesta al mismo se inflama creando rápidamente una capa carbonizada aislante que incrementa su protección natural. Al ser la madera un mal conductor de calor, la trasmisión hacia el interior de las altas temperaturas es muy baja. Este comportamiento es la base de una notable resistencia estructural al fuego. [14]

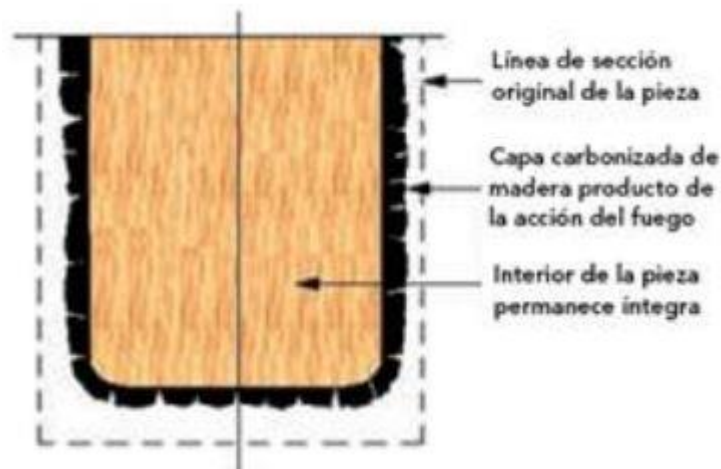


Figura 10. Comportamiento de la madera ante el fuego

Fuente: [13]

De acuerdo a estudios la madera para que la madera inicie el proceso de pirolisis la temperatura que debe alcanzar es mayor a los 270°C y empiece a producir llamas debe estar por encima de los 400 °C. [14]

1.1.3.8. Clasificación de la Madera

1.1.3.8.1. Clasificación de la madera por su Durabilidad

Se destaca que la durabilidad de las estructuras de madera dependerá de varios factores, que el diseñador deberá tomar en cuenta:

- Durabilidad natural de la especie elegida.
- Tipo de uso, clima, CH (Contenido de Humedad).
- Protección por el diseño.

La durabilidad natural de la madera depende principalmente de la especie y de la zona del tronco de donde ha sido extraída. Generalmente el duramen contiene sustancias tóxicas como las fónicas por las fenólicas, por ejemplo, que rechazan a los agentes biológicos que quieran invadirla. [12]

Las 5 categorías de la durabilidad natural (determinada en ensayos de campos), son las siguientes:

- Altamente resistentes
- Resistentes
- Moderadamente resistentes
- Muy poco resistente
- No resistentes

Se precisa que, mediante ensayos de laboratorio, se puede determinar la durabilidad, que clasifica la misma característica tal como sigue:

- Muy resistentes
- Resistentes
- Moderadamente resistentes

1.1.3.8.2. Clasificación de la madera por su densidad

Para la clasificación de la madera se establecerá de acuerdo a su uso y densidad nombradas a continuación:

Tabla 1. Clasificación de las maderas de acuerdo a su uso

CLASIFICACIÓN DE MADERA DE ACUERDO AL TIPO DE USO			
Clase de uso A	Clase de Uso B	Clase de uso C	Clase de Uso D
Maderas cuya densidad básica es mayor a 0,71 gr/cm ³ , es decir maderas pesadas o en otros términos duras. Son maderas estructurales utilizadas en pilotes, elementos de puentes, durmientes, vigas, columnas puntales, madera de recubrimiento y en ebanistería.	Maderas cuya densidad básica es mayor a 0,55 gr/cm ³ y menor a 0,70 gr/cm ³ , es decir maderas semipesados o en otros términos son maderas semiduras. Son maderas estructurales y apropiadamente tratadas se les puede emplear como puntales, vigas, viguetas, columnas, dinteles y en muebles y ebanistería	Maderas cuya densidad básica es mayor que 0,40 gr/cm ³ y menor a 0,54 gr/cm ³ , catalogadas como livianas o blandas. Los usos más comunes son: contrachapados, aglomerados, en estructuras simples, revestimientos y con adecuado tratamiento pueden ser empleados en estructuras.	Maderas de densidad básica menor o igual a 0,40gr/cm ³ , es decir maderas muy livianas es decir muy blandas. Son usadas en cajonería, aeromodelismo, aislamiento térmico acústico y en general en encofrados.

Fuente: [10]

1.1.3.8.3. Clasificación Visual por defectos para madera estructural

Irregularidades o imperfecciones que afecten a las propiedades físicas, químicas y mecánicas de una pieza de madera puede considerarse como un defecto, tiene por objetivo limitar la presencia, tipo, forma, tamaño y ubicación de los mismo obteniendo maderas con una menor cantidad de defectos. [10]

- Defectos relativos a la Constitución Anatómica: Se considera defecto cuando ha sido atacada y presenta pudrición y no está preservada.
- Defecto Relativo al Ataque de Agentes Biológicos.
- Defectos Originados durante el Apeo, transporte y Almacenamiento.
- Defecto Originado durante el secado.
- Defecto Originado Durante el Aserrió

1.1.3.9.Eucalipto

El *Eucalyptus globulus Labil* forma parte de la familia de las *Mirtaceas*, subgénero *Symphyomyrtus*, conocido como eucalipto o gomero azul. Es una de las primeras especies en difundirse. [15]

El eucalipto es australiano; fue introducido en la sierra a alturas entre 2.200 y 3.200 msnm, al interior del callejón Interandino.

Características Edafoclimáticas

Tabla 2.Caracteristicas Edafoclimaticas

Requerimientos Climáticos	
Altitud	2.200-3.300 msnm
Precipitación	800-1500mm
Temperatura	10,8-16,8 °C

Fuente: [16]

1.1.3.9.1. Requerimientos edáficos

La especie se desarrolla en suelos arenosos- arcilloso o areno-arcilloso con un pH 5 a 7, con una buen drenaje y cono compactados. La intensidad de la labranza depende del grado de inclinación



Figura 11. Arboles de eucalipto

Fuente: José Sanchez

1.1.3.9.2. Crecimiento y Morfología

El porte de los eucaliptos es muy variable, existiendo de porte arbóreo y otros de porte arbustivo. *Eucalyptus Globulus* puede llegar hasta 55-60 m.

Los incrementos medios anuales son: 1,2- 1,6 m. en altura y 1,1-1,2 cm en diámetro con un rendimiento en volumen de 16,76-26,24 m³/ha/año.

El sistema radical de esta especie presenta característica general la disposición de una raíz principal penetrante y fuerte, con raíces secundarias someras.

La corteza del tronco adulto es un elemento importante de identificación. Puede ser persistente o caduca y de diverso color, textura, grosor, constitución y la forma de la copa depende de condiciones ambientales. [15]

1.1.3.9.3. Usos de la Madera de Eucalipto

Con trozos de más de 10cm. De diámetro se exporta al Japón, Estados Unidos, Europa para pulpa de papel de alta calidad.

En la industria de la construcción, por ser madera dura la utilizan en la construcción estructural (columnas, vigas, parquet y otros pisos). La madera aserrada se utiliza en revestimientos, muebles y carpintería en general. [16]

1.1.3.9.4. Propiedades de la madera de eucalipto

El eucalipto el color de la albura está entre una crema claro y uno oscuro, con una textura mediana y un grano recto desviado a entrecruzado por nudosidades, tiene un brillo mediano.

1.1.3.9.5. Durabilidad

Al ser una madera dura de acuerdo a la clasificación del Documento Básico Seguridad Estructural de Madera (DB.SE-M) se le puede asignar a la clase de resistencia D40, que actualmente es la clase más alta para especies frondosas, aplicada en España. [4]

Tolera el fuego, y es resistente al ataque de termitas y perforadores marinos. [16]

1.1.3.9.6. Trabajabilidad

Es una madera de secado rápido, bajo al 20% de contenido de humedad en 75 días. En secado al horno, seco sin problemas de efectos mediante el horario suave. [16]

La abundancia de la especie y su gran rendimiento han llevado recientemente a importantes experimentos de investigación, utilizando probetas con el objetivo de desarrollar nuevos productos estructurales. Las simulaciones numéricas también pueden ser de interés en muchos campos de investigación y aplicaciones de ingeniería. Para el desarrollo de modelos de elementos finitos (FEM) [4]

1.1.3.9.7. Propiedades físicas y mecánicas del Eucalipto

Tabla 3. Propiedades físicas y mecánicas del Eucalipto

Densidad (g/cm ³)		0.55
Contracción	Radial (%)	Tangencial(%)
	5	11
Flexión	Esfuerzo medio (kg/cm ²)	873,06
	Módulo de elasticidad medio (kg/cm ²)	13344.89
	Esfuerzo mínimo (kg/cm ²)	633.77
	Módulo de elasticidad mínimo (kg/cm ²)	93510.04

Fuente: [16]

1.1.3.10. Cultivo

1.1.3.10.1. Planificación del Cultivo

Cuando se prueba plantar con eucalipto un terreno, es preciso planificar cuidadosamente todos los aspectos que ello sobrelleva. Los pasos a seguir para cada una de las tareas (selección de plantas, preparación del terreno, plantación y cosecha). Se enumeran a continuación:

- Estudio Físico del terreno, estableciendo la superficie útil (linderos, líneas eléctricas y telefónicas, oleoductos y conducción de agua), calidad y características del suelo (fertilidad y encharcamiento). Un plano y estudio del suelo pueden ser de gran utilidad.
- Elección de la especie y procedencia, la semilla más adecuada, considerando los factores limitantes. La climatología (frío, heladas, viento) determinan la elección.
- Cálculo financiero de la inversión, pensado en el tiempo esperado para talar. Antes cualquier inversión es necesario realizar un presupuesto.
- Obtención de los permisos correspondientes, los mismo son solicitudes que se entregan en el Ministerio de Ambiente y Agua.
- Planificación y ejecución de los trabajos previos en el terreno, una preparación inadecuada puede complicar la rentabilidad de la plantación. Las densidades de la plantación adecuadas ayudan en sus crecimientos y mejora las labores de mantenimiento.
- Labores de mantenimiento. Son imprescindibles durante los dos primeros años, favoreciendo los crecimientos y protección de la plantación.
- Preparación de la siguiente colecta. Después de la corta refinancie parte de las ganancias de la venta de madera en preparar el siguiente lote de madera.

Importante, que el origen de la semilla y estado de la planta es primordial para obtener unos buenos crecimientos. Por tal motivo debemos obtener la planta en viveros calificados, que le ofrezca garantía. [17]

1.1.3.11. Trabajos previos a la plantación

1.3.11.1. Infraestructura, limpieza y preparación

- **Infraestructura**

Toda superficie donde se vaya a cultivar eucalipto ha de tener una infraestructura adecuada. En primer lugar, debe tener un buen acceso tanto

para facilitar los trabajos de plantación como para explotación de los mismos.
[17]

- **Limpieza y preparación**

Los trabajos a realizar antes de efectuar la plantación deben estar enfocados a favorecer el arraigo y crecimiento inicial de los eucaliptos. Al igual que otros cultivos forestales (pinos, álamos) y no forestales (maíz), la existencia de otras plantas afecta los rendimientos del eucalipto, dado su susceptibilidad a hiervas, arbustos estos deben ser eliminados mediante desbroce del terreno.
[17]

- **Desbroce**

El objetivo de la limpieza previa a la plantación es conseguir que la planta tenga menor competencia en los dos primeros años, tanto por los nutrientes del suelo como por la luz solar. Mientras mejor el suelo más importancia se debe dar al desbroce, puesto que la calidad del suelo beneficia tanto al eucalipto como a matorrales y la hierba. El desbroce se puede llevar a cabo mediante diversos métodos. [17]

- **Limpieza manual**

Si se va hacer limpieza manual, en caso de estar cubierto por hiervas, tenemos que limpiar la mayor superficie posible alrededor del lugar donde va ir la planta. Desde un punto de vista económico, lo mejor es realizar calles de 1.5 metros de ancho en las líneas donde se vaya a plantar. Esta forma resulta lenta y menos eficaz, es posible utilizarlo dependiendo de las condiciones del terreno. [17]

- **Limpieza mecánica**

Si la parcela es mecanizable, los costos son menores que las labores manuales y el rendimiento, rapidez son mayores. Este sistema de limpieza facilita la trituración del matorral colabora al suelo inmediatamente como abono en verde. Si el matorral está alto, el empleo de una desbrozadora de martillo permite realizar una labor más intensa, triturando incluso leñas, matorrales

gruesos y restos de tala, pero su rendimiento es menor que la de cadenas y su coste, lógicamente, mayor. [17]

Un inconveniente de este trabajo es que no permite eliminar las raíces. La mayor parte de los matorrales desbrozados (tojós, escobas, zarzas, brezos, etc.), rebrotan posteriormente, incluso con más vigor que el inicial, resultando algunos de ellos rejuvenecidos por la operación. Al igual sucede si se siega la hierba justo antes de la plantación. [17]

El gradeo o el fresado del matorral se debe usar sólo en los casos en que por el tamaño y densidad de éste la desbrozadora de cadenas no pueda realizar un buen trabajo. Pero hay que tener en cuenta que estas operaciones son bastantes caras.

Así como el desbroce es conveniente realizarlo sobre la totalidad del terreno, la preparación del terreno se realizará únicamente donde se vaya a plantear, evitando remover el resto de la superficie.

La preparación del terreno es tanto más importante cuanto sea la calidad del suelo y se deberá realizar con más intensidad en suelos pocos profundos, muy pedregosos o compactos. [17]

1.1.3.12. Trabajo en los diferentes suelos

En suelos muy buenos, frescos y profundos una excesiva intensidad de preparación no influirá prácticamente en el crecimiento de los eucaliptos, pudiendo tener efectos contraproducentes como el de favorecer el germinado de las malas hierbas o aumentar el peligro de erosión por escorrentía superficial al quedar el suelo desnudo. En este caso es más importante una buena eliminación de la competencia de una intensa preparación del terreno. Es aconsejable mecanizar la preparación del terreno siempre que se pueda, teniendo en cuenta los dos factores limitantes a este proceso que son la pendiente y la superficie de la parcela. Los eucaliptos van a reaccionar muy bien a la tierra removida y a la profundidad a que se pueda trabajar. Un subsolado lineal con separación de surcos de 3 metros, en máxima pendiente, se puede considerar un tipo de preparación válida para una gran parte de los terrenos. No es conveniente subsolar según líneas de nivel en la Cornisa Cantábrica pues debido a la alta pluviosidad es posible que estos surcos queden

encharcados, lo cual resulta perjudicial para la plantación de cualquier especie forestal. [17]

El subsolado tiene que ser lo más profundo posible. Para suelos muy pedregosos, compactados o con un tepe muy denso puede resultar necesario que el <<ripper>> o rejón lleve aletas. Ello permite abrir un surco suficiente y facilita la correcta preparación del lugar de plantación. Es conveniente levantar periódicamente el <<ripper>> para evitar la continuidad del subsolado, así como hacer **plataformas** para colación de las plantas. [17]

Siguiendo las indicaciones referidas este método de preparación no debe traer problemas de arrastres de tierra.

El tractor agrícola puede subsolar bien terrenos con suelo fresco y suelto.

Para terreno de monte, especialmente si es una extensión grande o son varios los propietarios que desean plantar, saldrá más rentable contratar una pala cargadora o un buldózer que efectúe el subsolado. Recuerde que no debe decaparse el terreno con la pala del buldózer, ya que se destruye una parte del suelo muy rica en materia orgánica y nutrientes. [17]

1.1.3.13. Densidad de plantación

Para plantar a una densidad de 1.600 plantas por hectárea lo más recomendable es establecer una separación entre líneas de 3 m y entre plantas de 2 (marco regular de 3x2 m). en cualquier caso, es necesario no dejar menos de 3 metros entre líneas, para facilitar la mecanización y ejecución de posteriores trabajos de limpieza y mantenimiento, y del aprovechamiento final de la plantación. [17]

Si por motivos económicos o de acceso se tuviera que hacer pozas u hoyos, deberían ser de las mayores dimensiones posibles (40x40x40 cm.).

Deben realizarse con una azada de tipo 11A, con un pico soldado que facilite el trabajo en lugares pedregosos,

1.1.4. Ensayos

1.1.4.1. Ensayo de resistencia a la flexión de la madera

En las especificaciones de las ASTM D143, se tendrá dos tipos de probetas, la primaria de 50x50x760 mm y la secundaria de 25x25x410 mm, para el presente proyecto se utilizará las dimensiones secundarias. [18]

La probeta estará apoyada en el ensayo primario a 710mm y en el secundario a una distancia libre de 360 mm, al momento de recibir la carga se espera tener fallas las cuales se hará una comparación visual de acuerdo al tipo de falla especificado en la Norma. [18]

La aplicación de las cargas de igual manera se establece para el ensayo primario a una velocidad de 2.5mm/min y para el secundario 1.3mm/min.

De acuerdo a las especificaciones de la norma la carga que se aplicará en probetas primarias será de 890 N y en las secundarias 220 N, las mismas que son aplicadas por la maquina universal. Las cargas pueden modificarse de acuerdo al tipo de madera y el estado de la misma. [18]

Las gráficas de curva-deflexión se van a realizar hasta o más allá de la carga máxima.

Una vez concluido el ensayo se podrá observar alguna de las siguientes fallas en la madera.

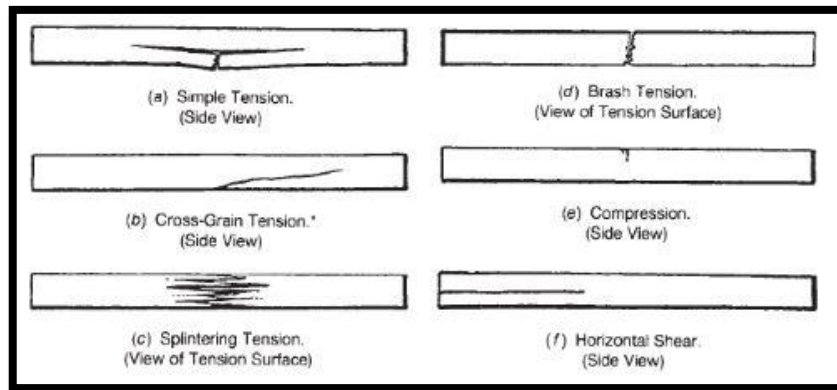


Figura 12. Tipos de Fallas en Flexión Estática

Fuente: [18]

- a) Tensión simple (vista lateral)
- b) Cruz-grano tensión (vista lateral)
- c) Tensión descarda (vista de la tensión de superficie)
- d) Compresión (vista lateral)
- e) Corte horizontal (vista lateral)

1.1.4.2. Cálculos del ensayo a flexión axial

Para los cálculos se considera las sumatorias de fuerza y obtención de fórmulas.

A continuación, vemos el planteamiento gráfico para el cálculo de la sumatoria de esfuerzos a flexión, determinación de momentos y la inercia. Ver Fig. 14

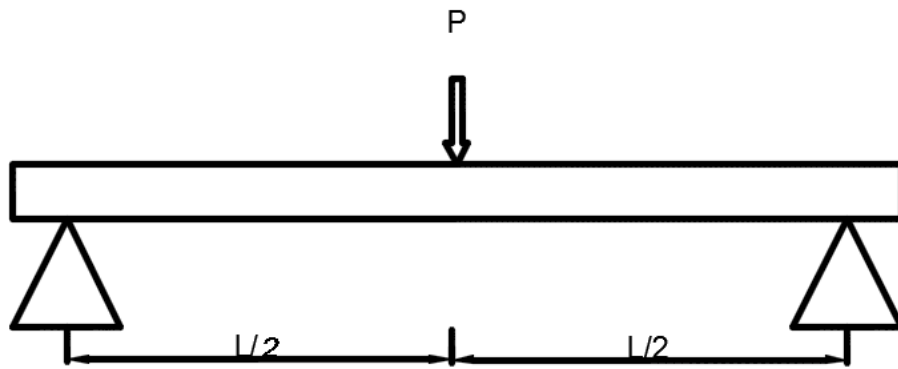


Figura 13. Representación del ensayo a flexión

Fuente: José L. Sánchez Dahua

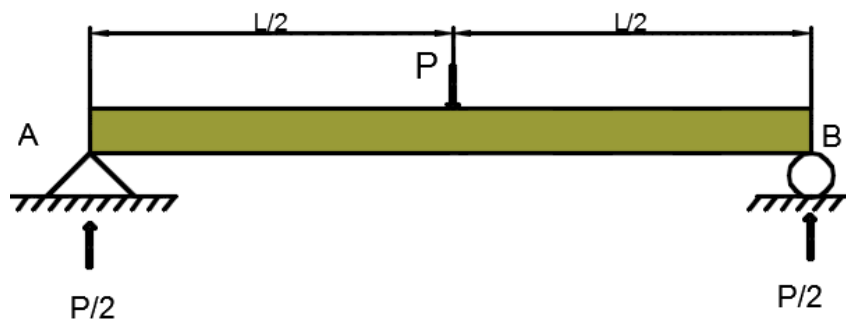


Figura 14. Diagrama del comportamiento a esfuerzos de la Viga

Fuente: José L. Sánchez Dahua

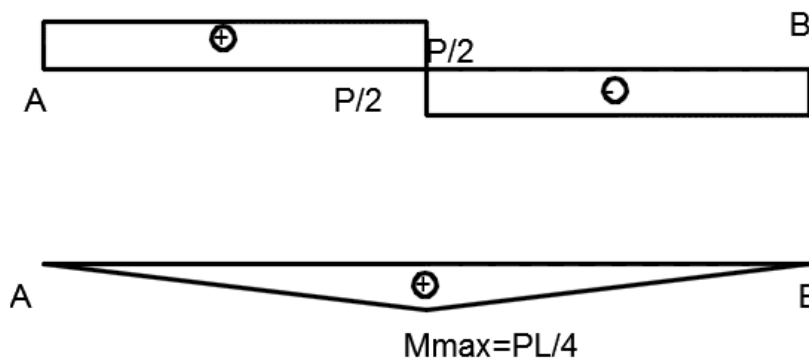


Figura 15. Diagrama de carga y momento

Fuente: José L. Sánchez Dahua

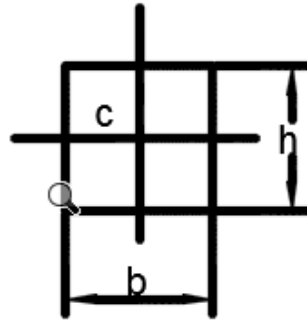


Figura 16. Centro de Inercia

Fuente: José L. Sánchez Dahua

1.1.4.3. Cálculos de Ensayos a Flexión

Fórmulas para el análisis a flexión:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} * c}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{\frac{PL}{4} * \frac{h}{2}}{\frac{bh^3}{12}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{PL * h * 12}{4 * 2 * bh^3}$$

$$\sigma_{max} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Donde:

- I= Inercia
- $\sigma_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo máximo

- P= Carga Aplicada (N)
- L= Longitud de Apoyos(mm)
- b= Ancho de la probeta(mm)
- h= Espesor de la probeta (mm)
- E_f= Módulo de Flexión
- δ= Deflexión de la probeta (mm)

Esfuerzo a Flexión (σ_{máx})

Es el esfuerzo resultante que puede soportar un material al aplicarse fuerzas perpendiculares al eje principal del mismo antes de fracturarse.

$$\sigma_{max} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Módulo de Flexión (E_f)

En mecánica el módulo de flexión es una propiedad que es la relación del esfuerzo máximo en la fibra y la deformación máxima por flexión, dentro del límite elástico.

$$E_f = \frac{L^3 F}{48x\delta x I}$$

Donde:

- I= Inercia
- F=Fuerza aplicada en el Límite Elástico
- δ= Deflexión de la probeta en el Límite Elastico (mm)

Deflexión (δ)

Es el grado en el que un elemento estructural se deforma bajo la aplicación de una carga.

Para obtener la deflexión máxima recurrimos a la siguiente formula:

$$\delta = \frac{P * L^3}{48E_f I}$$

Donde:

- δ = Deflexión de la probeta (mm)
- E_f = Módulo d Flexión
- I = Inercia (mm⁴)
- P = Carga Aplicada (N)

1.1.4.4. Ensayo de resistencia a la tracción paralela de la madera

El ensayo es para determinar la tensión paralela a la fuerza de la veta de la madera.

Las probetas se elaboran de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM D 143-94, las especificaciones se pueden ver en la fig. 17. [18]

La probeta se va a sujetar a las mordazas, la deformación se medirá en la parte central de la probeta con un ancho de 50mm, las lecturas de extensión se tomarán hasta que pase el límite de proporcionalidad.

La deformación se tomará hasta que llegue a los 0.02 mm

Para la madera la velocidad de carga será de 50N y la velocidad de las mordazas de 1mm/min.

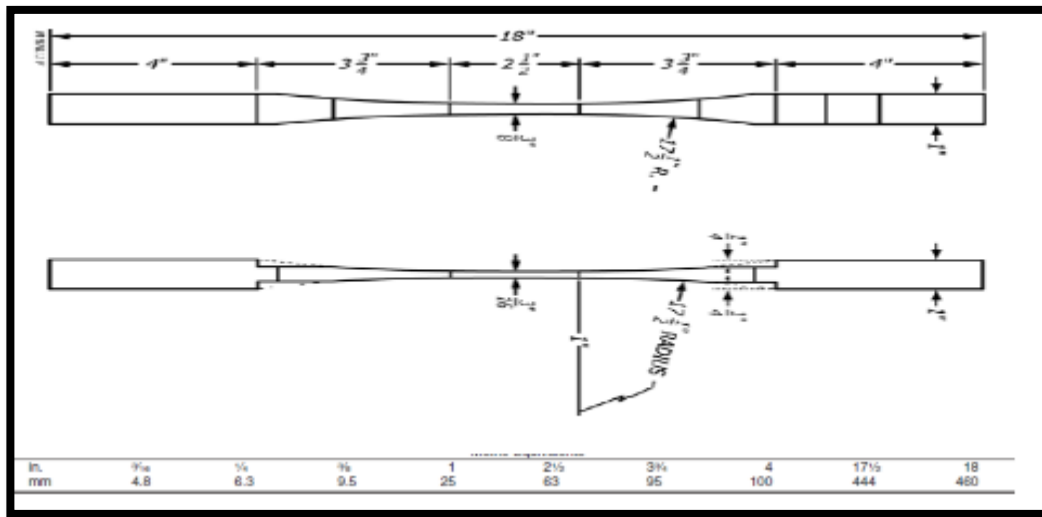


Figura 17. Dimensiones de la probeta

Fuente: [18]

Las fallas de tracción se clasifican de acuerdo con el aspecto de la superficie del material y la forma con que se fracturan las superficies descascaradas y fibrosas

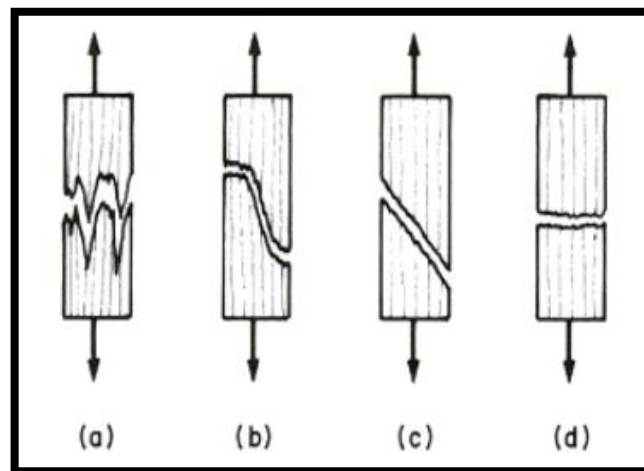


Figura 18. Fallas a tensión paralela a la fibra

Fuente: [19]

a.- Tensión cortes limpios

b.- Combinados de tensión y corte

c.- Tensión Cortante

d.- Tensión Frágil

1.1.4.5. Cálculos del ensayo a tracción

Esfuerzo Máximo ($\sigma_{\text{máx}}$)

Se conoce como el esfuerzo máximo que un material llega a soportar si es sometido a una fuerza de tensión antes de fracturarse

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{F}{A}$$

Donde:

$\sigma_{\text{máx}}$ = Esfuerzo máximo a tracción (MPa)

F= Fuerza máxima (N)

A= Área de la sección transversal (mm²)

Alargamiento

Del alargamiento debemos ver la deformación producida por una fuerza sobre el módulo de elasticidad del material de cada probeta antes del ensayo y a longitud luego del mismo, es decir cuánto se deformó el mismo.

Cálculos de la ecuación:

$$\delta = \frac{F * L}{E * A}$$

Donde:

δ = Alargamiento

F= Fuerza Axial (mm)

L= Longitud de elongación de la probeta (mm)

A= Área transversal

E= Modulo de elasticidad (N/mm²)

Módulo de elasticidad (E)

El módulo de elasticidad o Young es la relación entre el esfuerzo vs la deformación que presenta un material en la zona elástica.

La ecuación es la siguiente:

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon}$$

Donde:

E= Módulo de elasticidad (MPa)

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

ε = elongación (mm/mm)

1.1.4.6. Norma ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción recoge serie de normativas, de cumplimiento obligatorio a nivel nacional, las cuales establecen los mínimos requisitos de seguridad y calidad en edificaciones en todas sus etapas de proceso de constructivo. [20]

La Norma Ecuatoriana de la Construcción supone una actualización del Código Ecuatoriano de la Construcción, vigente desde el 2001.

La NEC se estructura de capítulos que contemplan 3 ejes principales:

- SEGURIDAD ESTRUCTURAL (NEC-SE)
- HABITABILIDAD Y SALUD (NEC-HS)
- SERVICIOS BÁSICOS (NEC-SB)

La Normativa fue elaborada bajo parámetros de calidad y seguridad internacionales. Por ende, la NEC tiene referencias a otras normativas nacionales y/o internacionales a fin de que se cumpla con los procesos establecidos. [20]

Para la elaboración de esta tesis nos enfocaremos en uno de los capítulos de la NEC 2015 como es el capítulo 8 que contempla Estructuras de Maderas.

1.1.4.6.1. NEC 2015 Capítulo 8 (Estructuras de Maderas)

La información contenida en este capítulo, ha sido tomada en su mayoría del “Manual de Diseño Para Maderas Del Grupo Andino”. Esta información está respaldada por ensayos en los países de la Subregión Andina (Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológicos en el Área de los Recursos Forestales Tropicales), así como investigaciones en otros países. [12]

El Ecuador como miembro de la Junta del Acuerdo de Cartagena, en el Proyecto Andino de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales PAD REFORT, con la finalidad de desarrollar el Estudio Integral de la Madera para la Construcción. [12]

De acuerdo a las necesidades y el objetivo del proyecto, la información más fundamental que se necesita de este capítulo son los esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad contemplados en el numeral 5.3.2 y 5.3.3 del capítulo nombrado.

- Esfuerzos admisibles. - Para el diseño estructural deberá usarse los esfuerzos admisibles que constan el Manual de Diseño de la JUNAC. Debe tenerse presente que los valores son válidos para madera ESTRUCTURAL.

Tabla 4. Esfuerzos admisibles para la madera (MPa)

ESFUERZOS ADMISIBLES (MPa)					
Grupo	Flexión	Tracción Paralela	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte Paralelo
	fm	ft	fc	fcl	fv
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

Fuente: [12]

- Módulo de Elasticidad. - Los valores de 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 paralelo a las fibras. [12]

Tabla 5. Módulo de elasticidad para la madera (MPa)

MODULO DE ELASTICIDAD (MPa)		
Grupo	$E_{min}(E_{0.05})$	$E_{promedio}$
A	9500	13000
B	7500	10000
C	5500	9000

Fuente: [12]

1.1.5. Hipótesis

Hi: Hipótesis Alternativa Ho: Hipótesis Nula

Hi: Existe una variación apreciable en la resistencia a flexión y tracción de la madera de eucalipto (perteneciente al grupo B) con respecto a las tablas presentadas en la NEC 2015

Ho: No existe una variación apreciable en la resistencia a flexión y tracción de la madera de eucalipto (perteneciente al grupo B) con respecto a las tablas presentadas en la NEC 2015.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar las propiedades mecánicas estructurales de la madera de Eucalipto, ubicada en la provincia de Tungurahua

1.2.2. Objetivos Específicos:

- Elaborar probetas de madera de eucalipto provenientes de los cantones de la provincia de Tungurahua de acuerdo a la Norma ASTM D 143-94.
- Determinar la tracción paralela a la fibra y flexión axial de las probetas de madera eucalipto.
- Actualizar la base de datos de las propiedades estructurales de la madera de Eucalipto proveniente de la Provincia de Tungurahua en las instalaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Nivel de Investigación

El presente proyecto experimental trabajará de manera exploratoria, de laboratorio, experimental, aplicada y bibliográfica, con un desarrollo encaminado al cumplimiento de los objetivos propuestos

2.1.1. Investigación Exploratoria (Observación)

Será del tipo exploratorio para lo cual se va a recorrer los depósitos de madera y bosques naturales de eucalipto de cantones de la provincia de Tungurahua, en los cual se va a observar los entornos, la producción y la recolección de la madera de Eucalipto en sectores estratégicos escogidos de acuerdo a investigaciones previas.

2.1.2. Investigación Experimental

Será experimental debido a que se van realizar probetas con el eucalipto escogido.

Los tamaños de las probetas para los ensayos de flexión serán de 25mm de alto por 25mm de ancho y por 410mm de largo como nos indica la norma ASTM D 143-94.

El ensayo de tracción se lo realiza mediante aplicación de fuerzas sobre la barra de madera como está especificado en la norma ASTM D143-94 mediante la cual se establecen las características y el procedimiento de análisis de las probetas.

2.1.3. Investigación de Laboratorio

Será de laboratorio por que la metodología adoptada necesitaría de un control

constante de las muestras a investigar. Se utilizará las máquinas de flexión y la máquina universal de ensayos de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

2.1.4. Investigación Aplicada

Es investigación aplicada debido a que el proyecto busca actualizar las tablas de las propiedades estructurales de la madera de eucalipto en referencia a las tablas de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (capítulo 8), las cuales contiene datos generales de las propiedades estructurales de la madera catalogada por grupos y no existe una tabla específica del eucalipto.

El estudio además busca establecer al eucalipto como materia prima para la construcción de viviendas ecológicas y a costos reducidos en comparación de los materiales convencionales.

2.1.5. Investigación Bibliográfica

Es investigación bibliográfica debido al uso de información obtenida de libros, tesis, revistas, normas, artículos científicos, sitios web, informes y documentos en general, los cuales son las referencias para antecedentes, justificación y marco teórico.

2.1.6. Población y Muestra

Para las muestras se recolecto madera de varios cantones de la provincia los cuales se visualizan en los siguientes mapas.



Figura 19. Sitio de muestras de la Ciudad de Pelileo
Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 20. Sitio de las muestras de la Ciudad de Ambato
Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 21. Sitio de las muestras de la Ciudad de Baños

Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 22. Sitio de las muestras de la Ciudad de Quero

Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 23. Sitio de las muestras de la Ciudad de Quero
 Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 24. Sitio donde se consiguió las muestras de la Ciudad de Píllaro
 Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 25. Zonificación de Recolección de eucalipto en la provincia de Tungurahua

Fuente: José L. Sánchez Dahua

En base a la Norma ASTM D 143-94 recomienda la utilización de piezas uniformes de sección homogénea de madera limpias libre de defectos para los resultados sean representativos; también insta que el número de probetas a ensayarse debe ser entre 5 y 10 para validar los resultados obtenidos en cada ensayo. Para nuestro caso se realizará con 6 probetas para ensayos a flexión axial y 5 para ensayos a tracción paralela a la fibra.

Tabla 6. Número de probetas para los ensayos de tracción y flexión.

N°	Sitio de Recolección	N° Probetas	Ensayo	Norma
1	Ambato	6	Flexión	ASTM D143
2	Ambato	5	Tracción	ASTM D143
3	Pelileo	6	Flexión	ASTM D143
4	Pelileo	5	Tracción	ASTM D143
5	Píllaro	6	Flexión	ASTM D143
6	Píllaro	5	Tracción	ASTM D143

7	Baños	6	Flexión	ASTM D143
8	Baños	5	Tracción	ASTM D143
9	Cevallos	6	Flexión	ASTM D143
10	Cevallos	5	Tracción	ASTM D143
11	Quero	6	Flexión	ASTM D143
12	Quero	5	Tracción	ASTM D143
Total		66		

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Materiales

- Probetas de eucalipto de acuerdo a la Norma ASTM D143



Figura 26. Probetas a tracción

Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 27. Probetas a Flexión

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 7. Probetas a Flexión (Baños)

PROBETAS DE ENSAYO A FLEXIÓN PROVENIENTE DEL CANTON BAÑOS			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
B1	410	25	25
B2	410	25	25
B3	410	25	25
B4	410	25	25
B5	410	25	25
B6	410	25	25

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

Tabla 8. Probetas a Tracción (Baños)

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PROVENIENTE DEL CANTON BAÑOS			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
B1	460	25	25
B2	460	25	25
B3	460	25	25
B4	460	25	25
B5	460	25	25

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

Tabla 9.. Probetas a Flexión (Pelileo)

PROBETAS DE ENSAYO A FLEXIÓN PROVENIENTE DEL CANTON PELILEO			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
P1	410	25	25
P2	410	25	25
P3	410	25	25
P4	410	25	25
P5	410	25	25
P6	410	25	25

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

Tabla 10. Probetas a Tracción (Pelileo)

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PROVENIENTE DEL CANTON PELILEO			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
P1	460	25	25
P2	460	25	25
P3	460	25	25
P4	460	25	25
P5	460	25	25

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

Tabla 11. Probetas a Flexión (Quero)

PROBETAS DE ENSAYO A FLEXIÓN PROVENIENTE DEL CANTON QUERO			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
Q1	410	25	25
Q2	410	25	25
Q3	410	25	25
Q4	410	25	25
Q5	410	25	25

Q6	410	25	25
----	-----	----	----

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

Tabla 12. Probetas a Tracción (Quero)

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PROVENIENTE DEL CANTON QUERO			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
Q1	460	25	25
Q2	460	25	25
Q3	460	25	25
Q4	460	25	25
Q5	460	25	25

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

Tabla 13. Probetas a Flexión (Cevallos)

PROBETAS DE ENSAYO A FLEXIÓN PROVENIENTE DEL CANTON CEVALLOS			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
C1	410	25	25
C2	410	25	25

C3	410	25	25
C4	410	25	25
05	410	25	25
C6	410	25	25

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

Tabla 14. Probetas a Tracción (Cevallos)

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PROVENIENTE DEL CANTON CEVALLOS			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
C1	460	25	25
C2	460	25	25
C3	460	25	25
C4	460	25	25
C5	460	25	25

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

Tabla 15. Probetas a Flexión (Ambato)

PROBETAS DE ENSAYO A FLEXIÓN PROVENIENTE DEL CANTON AMBATO			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)

A1	410	25	25
A2	410	25	25
A3	410	25	25
A4	410	25	25
A5	410	25	25
A6	410	25	25

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

Tabla 16. Probetas a Tracción (Ambato)

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PROVENIENTE DEL CANTON AMBATO			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
A1	460	25	25
A2	460	25	25
A3	460	25	25
A4	460	25	25
A5	460	25	25

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

Tabla 17. Probetas a Flexión (Píllaro)

PROBETAS DE ENSAYO A FLEXIÓN PROVENIENTE DEL CANTON PILLARO			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
PIL1	410	25	25
PIL2	410	25	25
PIL3	410	25	25
PIL4	410	25	25
PIL5	410	25	25
PIL6	410	25	25

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

Tabla 18. Probetas a Tracción (Píllaro)

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PROVENIENTE DEL CANTON PILLARO			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
PIL1	460	25	25
PIL2	460	25	25
PIL3	460	25	25
PIL4	460	25	25
PIL5	460	25	25

Fuentes: José Sánchez

Tabla 19. Probetas a Flexión (Patate)

PROBETAS DE ENSAYO A FLEXIÓN PROVENIENTE DEL CANTON PATATE			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
PT1	410	25	25
PT2	410	25	25
PT3	410	25	25
PT4	410	25	25
PT5	410	25	25
PT6	410	25	25

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

Tabla 20. Probetas a Tracción (Baños)

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PROVENIENTE DEL CANTON PATATE			
N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
PT1	460	25	25
PT2	460	25	25
PT3	460	25	25

PT4	460	25	25
PT5	460	25	25

Fuentes: José L. Sánchez Dahua

2.2.2 Equipo

- Máquina Universal de Ensayos



Figura 28. Máquina de Ensayo a tracción

Fuente: José L. Sánchez Dahua

- Equipo para pruebas de Flexión de vigas



Figura 29. Máquina de compresión SHIMADZU CONCRETO 2000X

Fuente: José L. Sánchez Dahua

- Calibrador

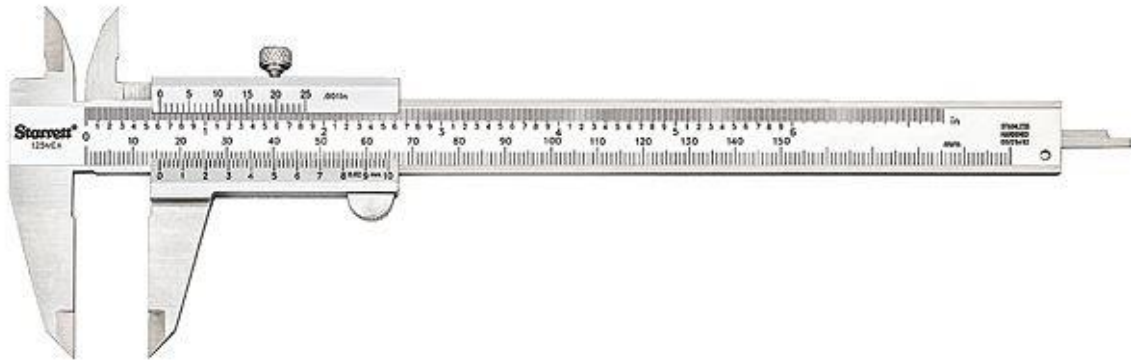


Figura 30. Calibrador

Fuente: José L. Sánchez Dahua

2.3.Métodos

2.3.1. Plan de Recolección de Datos

Tabla 21. Plan de Recolección de datos

Preguntas Básicas	Explicación
¿Para qué?	Para zonificar los datos existentes con respecto a la madera de eucalipto en la provincia de Tungurahua.
¿A quiénes?	A las probetas de eucalipto a flexión y a probetas de eucalipto a tracción.
¿Sobre qué aspecto?	Sobre las características estructurales del eucalipto (tracción y flexión)

¿Quién?	El Sr. José Luis Sánchez Dahua autor del presente trabajo experimental y el Ing. Mg. Marisol Bayas
¿Cuándo?	Ensayos de Laboratorio del 10 de diciembre 2020 al 10 enero 2021. Procesamiento y análisis de información desde enero-febrero de 2021
¿Dónde?	Laboratorios de Ensayos de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 22. Plan de Recolección de Datos

Pregunta Básica	Explicación
¿Técnica de Recolección?	<p>El proyecto se rige en una normativa desarrollada en Sudamérica, Norteamérica y la Normativa Ecuatoriana, nos proporcionan información detallada sobre los diferentes tipos de madera que se producen en el Continente.</p> <p>Las Normativas son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 • Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (PADT-REFORT) • American Society for Testing and Materials (ASTM)

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Elaboración de probetas

Se elaborará probetas con la finalidad de comprobar las propiedades de flexión axial y tracción paralelo a la fibra de la madera de eucalipto. De esta manera se podrá conocer las

propiedades mecánicas (Esfuerzo y Módulo de elasticidad) y las variaciones que existan entre maderas de varios cantones de Tungurahua.

Según la normativa se debe realizar el análisis de al menos 5 probetas por cada ensayo, pero para con fines de obtener mayor relevancia en el ensayo se analizará 6 probetas a flexión y tracción respectivamente. Además, se determina las dimensiones de las probetas según la ASTM D 43.

Procedimiento para el ensayo a flexión

El ensayo a flexión se lo realizó en la máquina de compresión “SHIMADZU CONCRETO 2000X”, perteneciente a los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Lo primero que se va hacer es tomar las medidas de las probetas, para lo cual se utiliza un pie de rey con una precisión de 0.05mm, y además de un flexómetro para la longitud de las mismas.



Figura 31. Midiendo probetas con calibrador

Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 32. Tomando medidas con flexómetro

Fuente: José L. Sánchez Dahua

- En la maquina universal revisamos la calibración y además la separación de los apoyos donde se ubicará la probeta.



Figura 33. Colocando los apoyos para el ensayo

Fuente: José L. Sánchez Dahua

- Colocamos la probeta en la máquina, además revisamos la distancia de los apoyos y observamos si el bloque de carga está alineado al centro de la probeta.



Figura 34. Colocando Probeta de madera

Fuente: José L. Sánchez Dahua

- Comenzamos encerando la máquina antes de comenzar el ensayo.

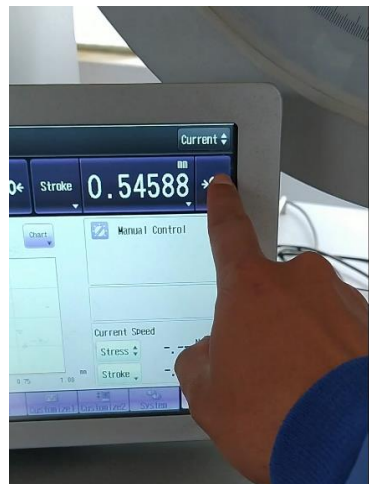


Figura 35. Encerando las deformaciones

Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 36. Encerando las Cargas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

- Damos inicio al ensayo el cual se realizará hasta cuando la probeta falle a rotura o exista una caída muy fuerte de los esfuerzo

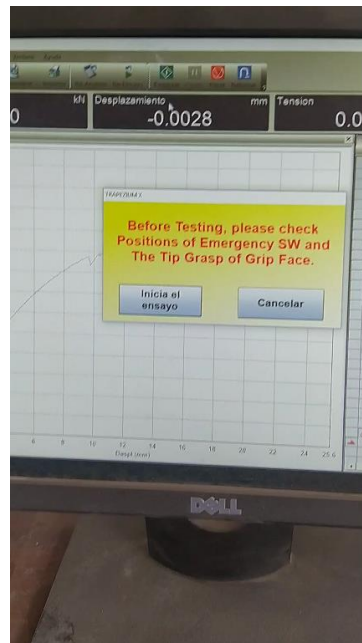


Figura 37. Iniciando el ensayo

Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 38. Probeta levemente flexionada por la aplicación de carga constante.

Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 39. Falla por rotura de probeta

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Ensayo de tracción paralelo a la fibra en madera

El ensayo a tracción se lo realizó en la máquina universal, perteneciente a los laboratorios del Centro Carrocero del H. Consejo Provincial de Tungurahua

Procedimiento del ensayo a tracción de la madera de eucalipto

- Primero con la ayuda del calibrador tomamos las medidas de la probeta



Figura 40. Tomando medidas de probetas a tracción

Fuente: José L. Sánchez Dahua

En la maquina universal revisamos la calibración.



Figura 41. Calibración de la máquina por medio del computador integrado.

Fuente: José L. Sánchez Dahua

- Colocamos la probeta en la máquina, además revisamos si se ajustan a las mordazas.



Figura 42. Probeta previamente al ensayo, ajustado las mordazas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

- Comenzamos aplicar carga a una velocidad constante hasta cuando se observe un decrecimiento de las cargas o la rotura de la probeta.



Figura 43. Probeta con fractura por esfuerzos aplicados.

Fuente: José L. Sánchez Dahua

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente análisis, se lleva a cabo mediante la recolección de muestras de madera de eucalipto fresco provenientes de varios cantones de la provincia de Tungurahua, la madera pasó por un proceso de secado al natural de al menos 5 meses. Estas muestras sirvieron para elaborar probetas de madera de acuerdo a la norma ASTM D 143-14, posteriormente se trasladaron al laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato, se realizaron los ensayos de laboratorio respectivos y los resultados obtenidos se tabularon, mismos que presentan en los siguientes análisis y tablas.

3.1.1. Contenido de Humedad

Para poder obtener el contenido de humedad de las probetas se obtuvo un trozo de la probeta y se secó en un horno, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 23. Contenido de Humedad de Pelileo

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)			
Tipo de ensayo:	Contenido de humedad	Temperatura:	105° C
Norma	ASTM D143	Máquina:	Horno Eléctrico
Fecha de Ejecución	24/02/2021	Fecha de extracción del horno	26/02/2021

Realizado por:	José Sánchez	Revisado por:	Ing. Byron Lopez
Sitio de la muestra:	Pelileo		
N° Muestra	Masa Humeda (P)	Masa Anhidra (Psh)	Contenido de humedad (CH) %
P1	90.6	78.3	15.71
P2	90.7	78.9	14.96
P3	89.2	76.7	16.3
P4	80.5	68.5	17.52
P5	94.4	82.4	14.56
P6	91.2	79.4	14.86
PROMEDIO			15.65
DESVIACIÓN ESTANDAR			1.115
COEFICIENTE DE VARIACIÓN			7.1246

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 24. Contenido de Humedad Baños

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA 			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)			
Tipo de ensayo:	Contenido de humedad	Temperatura:	105° C
Norma	ASTM D143	Máquina:	Horno Eléctrico
Fecha de Ejecución	24/02/2021	Fecha de extracción del horno	26/02/2021
Realizado por:	José Sánchez	Revisado por:	Ing. Byron Lopez
Sitio de la muestra:	Baños		

N° Muestra	Masa Humeda (P)	Masa Anhidra (Psh)	Contenido de humedad (CH) %
B1	109.9	95.8	14.72
B2	97.4	85.2	14.32
B3	96.4	83.9	14.9
B4	91.5	78.3	16.86
B5	98.1	84.4	16.23
B6	100.1	87.9	13.88
PROMEDIO			15.15
DESVIACIÓN ESTANDAR			1.152
COEFICIENTE DE VARIACIÓN			7.6040

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 25 Contenido de Humedad Patate

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE IN GENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
<p>Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)</p>			
Tipo de ensayo:	Contenido de humedad	Temperatura:	105° C
Norma	ASTM D143	Máquina:	Horno Eléctrico
Fecha de Ejecución	24/02/2021	Fecha de extracción del horno	26/02/2021
Realizado por:	José Sánchez	Revisado por:	Ing. Byron Lopez
Sitio de la muestra:	Patate		
N° Muestra	Masa Humeda (P)	Masa Anhidra (Psh)	Contenido de humedad (CH) %
PT1	97.8	84.4	15.88
PT2	93.2	81.7	14.08

PT3	92.1	77.8	18.38
PT4	106.9	93.8	13.97
PT5	100.3	86.7	15.69
PT6	101.3	87.9	15.24
PROMEDIO			15.54
DESVIACIÓN ESTANDAR			1.606
COEFICIENTE DE VARIACIÓN			10.3346

Fuente: José L. Sánchez Dahua



Tabla 26 Contenido de Humedad Píllaro

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)			
Tipo de ensayo:	Contenido de humedad	Temperatura:	105° C
Norma	ASTM D143	Máquina:	Horno Eléctrico
Fecha de Ejecución	19/03/2021	Fecha de extracción del horno	19/03/2021
Realizado por:	José Sánchez	Revisado por:	Ing. Byron Lopez
Sitio de la muestra:	Píllaro		
N° Muestra	Masa Humeda (P)	Masa Anhidra (Psh)	Contenido de humedad (CH) %
PIL1	96.4	83	16.14
PIL2	86	74.4	15.59
PIL3	89.2	76.9	15.99
PIL4	90	77.8	15.68
PIL5	93.7	81.2	15.39
PIL6	88.7	76.4	16.1

PROMEDIO	15.82
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.306
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	1.9343



Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 27. Contenido de Humedad Quero

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)					
Tipo de ensayo:	Contenido de humedad	Temperatura:	105° C		
Norma	ASTM D143	Máquina:	Horno Eléctrico		
Fecha de Ejecución	19/03/2021	Fecha de extracción del horno	19/03/2021		
Realizado por:	José Sánchez	Revisado por:	Ing. Byron Lopez		
Sitio de la muestra:	QUERO				
N° Muestra	Masa Humeda (P)	Masa Anhidra (Psh)		Contenido de humedad (CH) %	
Q1	83.6	71.5		16.92	
Q2	94.9	80.7		17.6	
Q3	89.7	76.7		16.95	
Q4	86.4	74.5		15.97	
Q5	92.4	78.5		17.71	
Q6	82.3	70.7		16.41	
PROMEDIO				16.93	
DESVIACIÓN ESTANDAR				0.671	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN				3.9634	

Fuente: José L. Sánchez Dahua



Tabla 28. Contenido de Humedad Cevallos

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE IN GENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)			
Tipo de ensayo:	Contenido de humedad	Temperatura:	105° C
Norma	ASTM D143	Máquina:	Horno Eléctrico
Fecha de Ejecución	19/03/2021	Fecha de extracción del horno	19/03/2021
Realizado por:	José Sánchez	Revisado por:	Ing. Byron Lopez
Sitio de la muestra:	CEVALLOS		
N° Muestra	Masa Humeda (P)	Masa Anhidra (Psh)	Contenido de humedad (CH) %
C1	97	83.8	15.75
C2	83.3	71.6	16.34
C3	89.2	77.2	15.54
C4	96.2	83.3	15.49
C5	98	84.3	16.25
C6	95	82.6	15.01
PROMEDIO			15.73
DESVIACIÓN ESTANDAR			0.501
COEFICIENTE DE VARIACIÓN			3.1850

Fuente: José L. Sánchez Dahua

3.1.2. Resultados de ensayos a flexión

Tabla 29. Ensayo a Flexión de Baños

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div>  </div>						
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (<i>Eucalyptus</i>), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)						
Tipo de ensayo:	Flexión		C. de Humedad:	15.54%		
Máquina:	SHIMADZU CONCRETO 2000X					
Norma	ASTM D143	Temperatura:	22 °C			
Fecha de Ejecución	31/03/2021	Dimensiones	2.5X2.5X41cm			
Realizado por:	José Sánchez	V. de Ensayos	0.24MPa/seg			
Inercia:	32552.083mm		Longitud Libre:	360.00 mm		
Revisado por:	Ing. Byron Lopez	Muestra:	Baños			
TABLA DE RESULTADOS						
N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Deflexión Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de falla
B1	2917.2	20.87	100.82	8786.27	5.80	a
B2	3812.79	22.10	131.77	11767.70	6.14	a
B3	3207.525	20.20	110.85	9607.73	5.61	a
B4	2896.743	11.52	100.11	11762.81	3.20	a
B5	3073.375	20.74	106.22	12886.26	5.76	a
B6	3465.65	21.37	119.77	11223.34	5.94	a
Promedio	3228.8805	19.47	111.59	11005.68	5.41	
Desviación Estándar	354.713	3.946	12.259	1524.332	1.096	
Coefficiente de Variación	10.986	20.271	10.986	13.85	20.27	

Fuente: José L. Sánchez Dahua

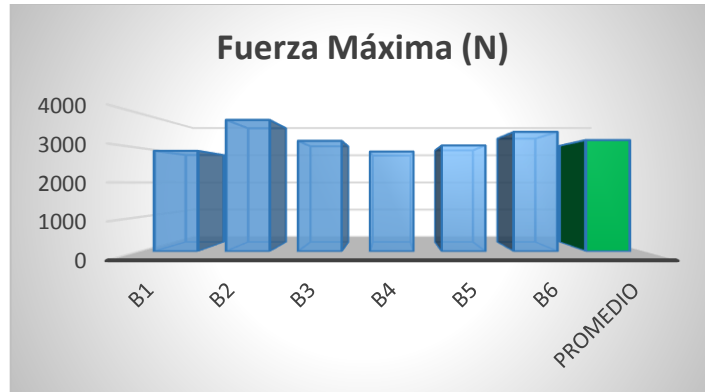


Figura 44. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

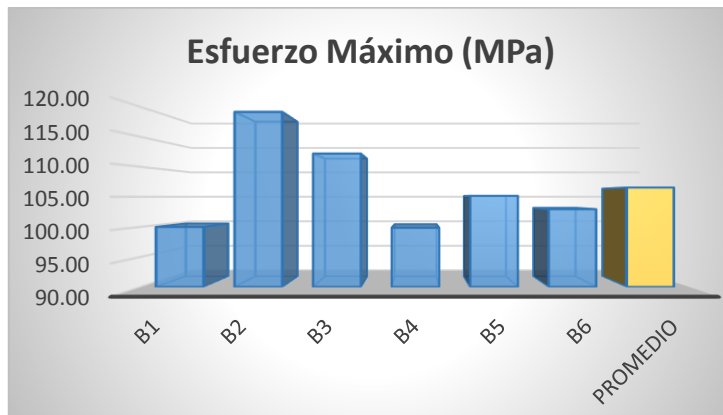


Figura 45. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

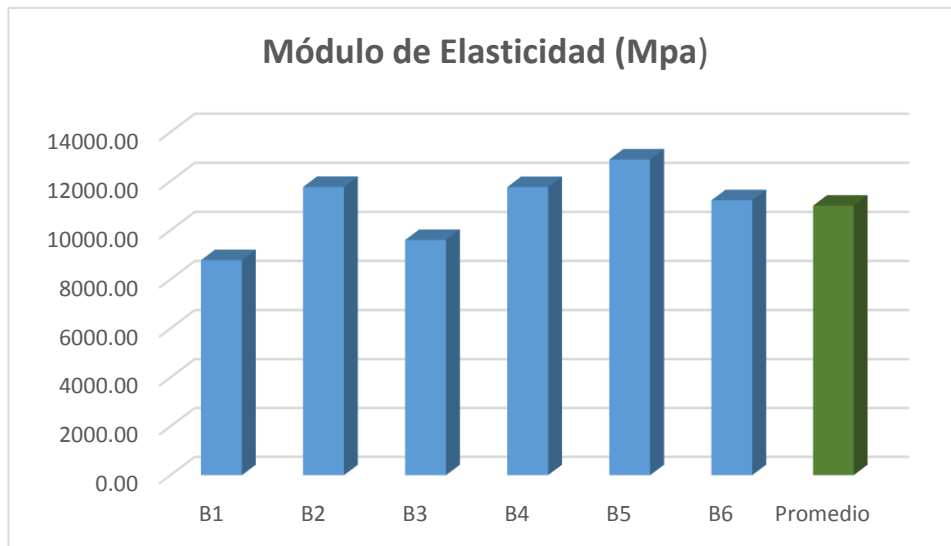


Figura 46. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

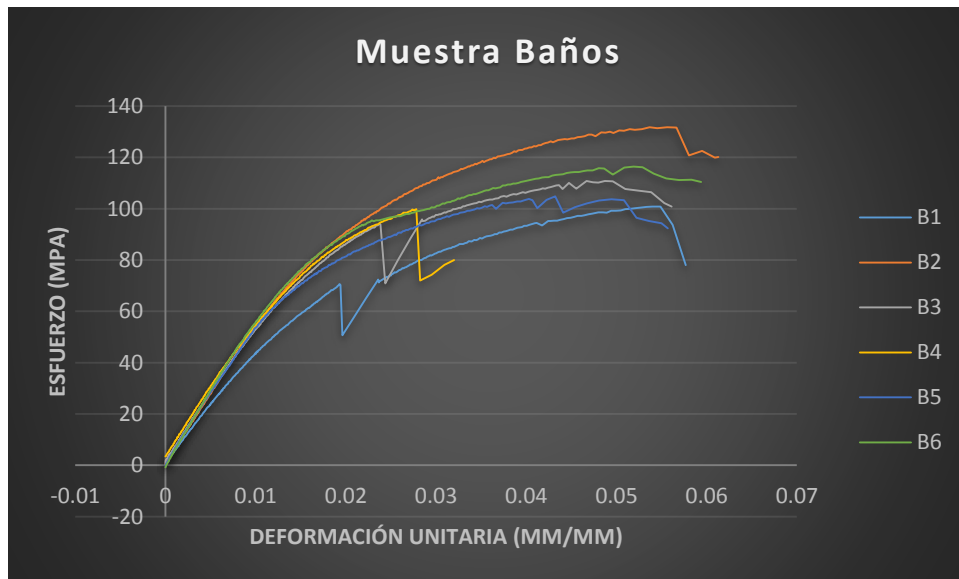




Figura 47. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria de Baños

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 30. Resultados a Flexión en Pelileo

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)						
Tipo de ensayo:		Flexión		C. de Humedad:		0.00%
Máquina:		SHIMADZU CONCRETO 2000X				
Norma		ASTM D143		Temperatura:		22 °C
Fecha de Ejecución		31/03/2021		Dimensiones		2.5X2.5X41cm
Realizado por:		José Sánchez		V. de Ensayos		0.24MPa/seg
Inercia:		32552.083mm		Longitud Libre:		360.00 mm
Revisado por:		Ing. Byron Lopez		Muestra:		Pelileo
N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de falla
P1	2893.13	12.28475	99.99	10842.83	3.41	e
P2	3447.85	22.89325	119.16	11297.72	6.36	b
P3	3246.625	22.14388	112.20	9435.48	6.15	c
P4	2888.997	11.53763	99.84	11830.85	3.20	b
P5	3042.857	15.84338	105.16	14493.32	4.40	a
P6	2978.643	17.24875	102.94	10296.91	4.79	b
Promedio	3083.017	16.99	106.55	11366.18	4.72	
Desviación Estandar	221.846	4.789	7.667	1740.369	1.33	
Coefficiente de Variación	7.196	28.184	7.196	15.312	28.178	

Fuente: José L. Sánchez Dahua

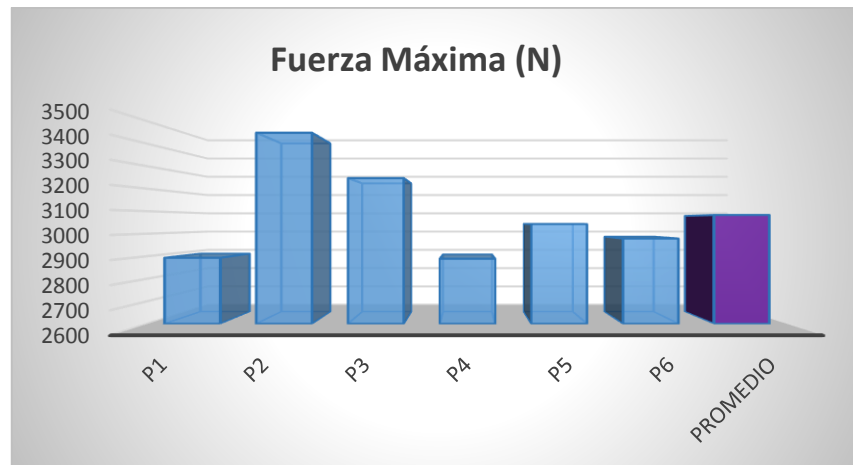


Figura 48. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

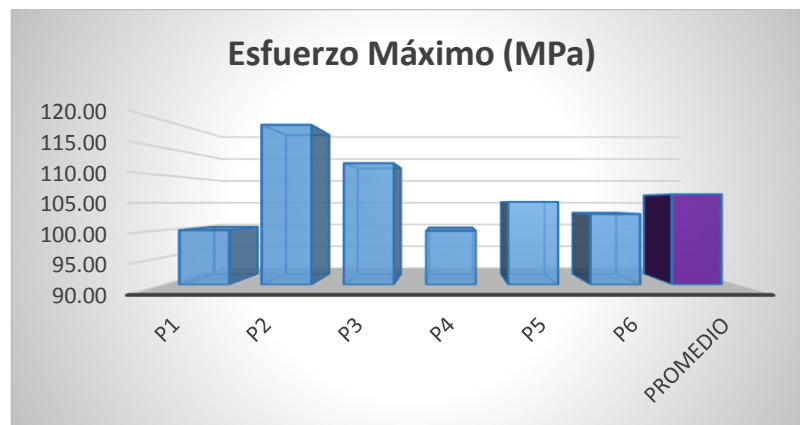


Figura 49. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

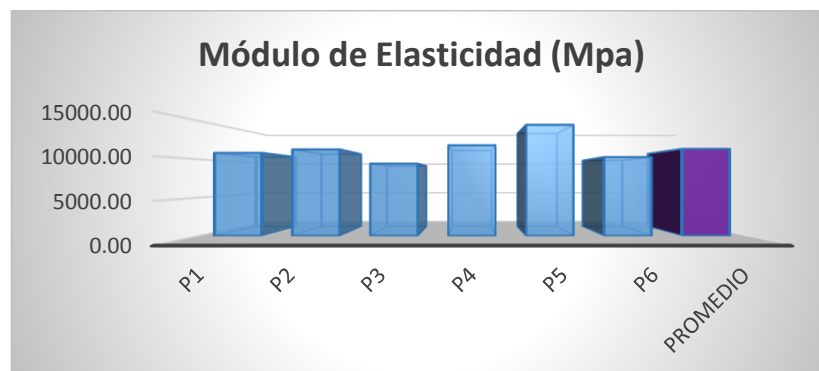


Figura 50. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

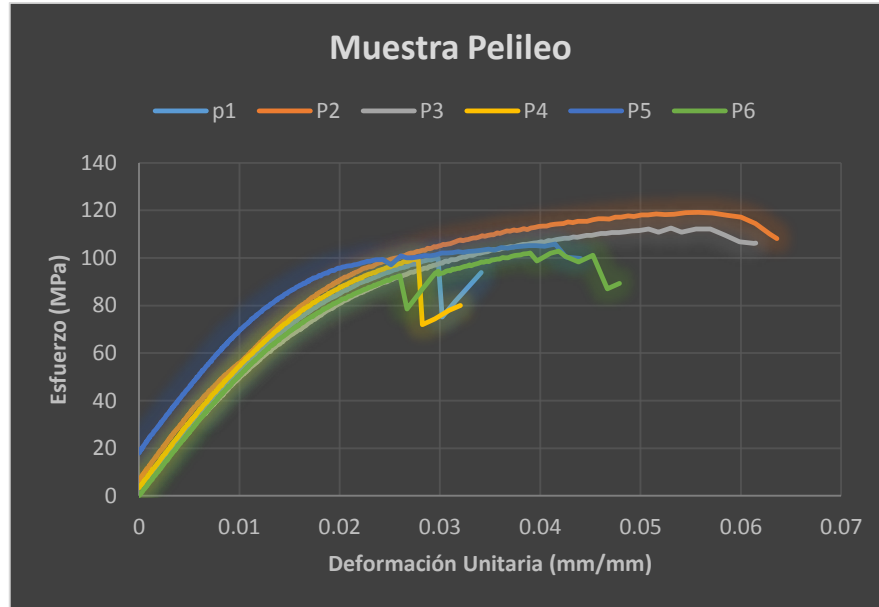


Figura 51. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria de Pelileo

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 31. Ensayos a Flexión de Patate

<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</p>			
<p>Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (<i>Eucalyptus</i>), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)</p>			
Tipo de ensayo:	Flexión	C. de Humedad:	0.00%
Máquina:	SHIMADZU CONCRETO 2000X		
Norma	ASTM D143	Temperatura:	22 °C
Fecha de Ejecución	31/03/2021	Dimensiones	2.5X2.5X41cm

Realizado por:	José Sánchez	V. de Ensayos	0.24MPa/seg			
Inercia:	32552.083mm	Longitud Libre:	360.00 mm			
Revisado por:	Ing. Byron Lopez	Muestra:	Patate			
TABLA DE RESULTADOS						
N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de falla
PT1	3255.208	16.476	112.50	12151.71	4.58	a
PT2	2882.004	15.052	99.60	8955.16	4.18	e
PT3	2480.189	18.10225	85.72	8337.18	5.03	b
PT4	2607.663	20.5585	90.12	9261.50	5.71	a
PT5	2671.878	18.83775	92.34	10028.14	5.23	a
PT6	3465.602	21.27813	119.77	11223.33	5.91	a
Promedio	2893.7573	18.38	100.01	9992.84	5.11	
Desviación Estandar	389.849	2.372	13.473	1451.132	0.659	
Coefficiente de Variación	13.472	12.903	13.472	14.522	12.904	

Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 52. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

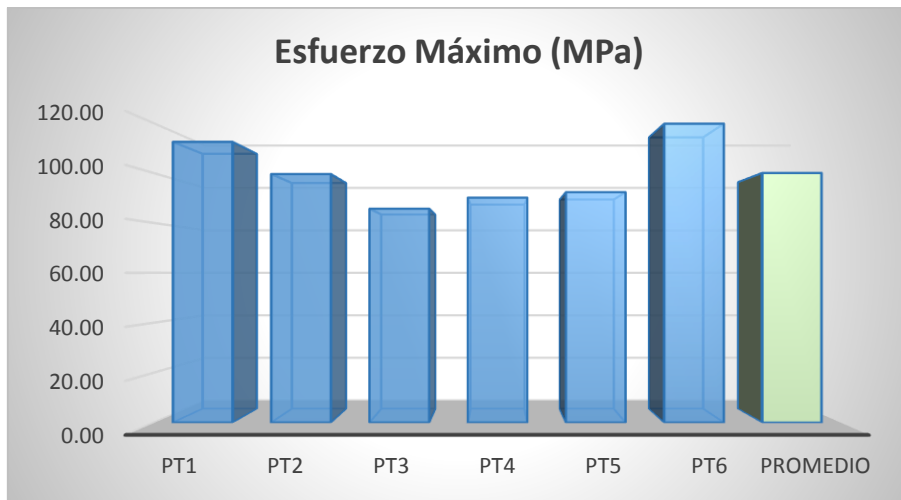


Figura 53. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

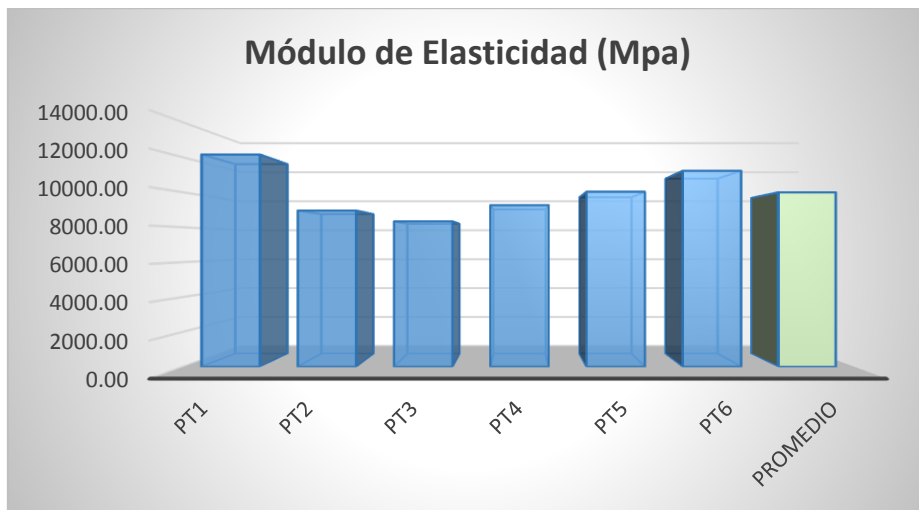


Figura 54. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

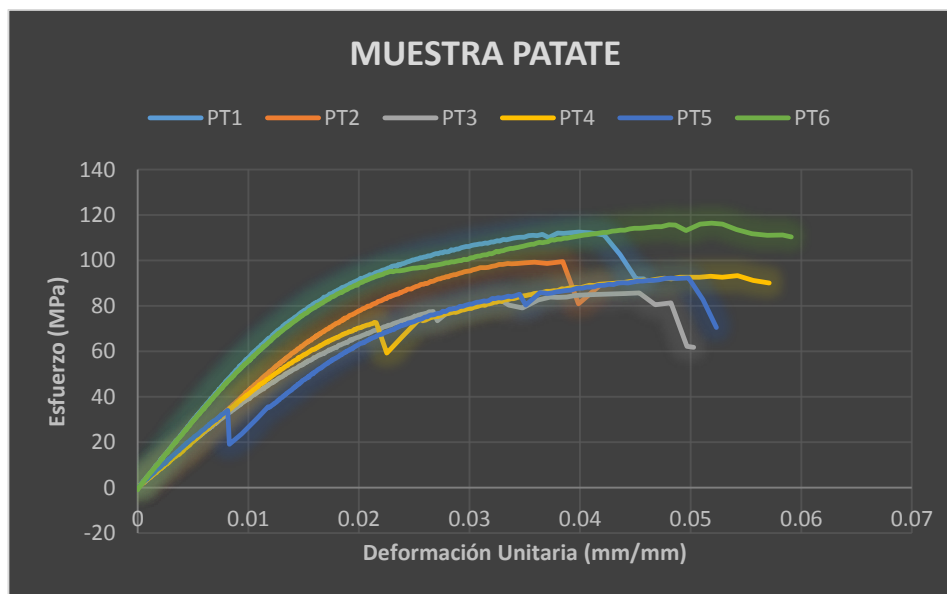


Figura 55. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 32. Ensayos a Flexión de Píllaro

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)			
Tipo de ensayo:	Flexión	C. de Humedad:	15.82%
Máquina:	SHIMADZU CONCRETO 2000X		
Norma	ASTM D143	Temperatura:	22 °C
Fecha de Ejecución	31/03/2021	Dimensiones	2.5X2.5X41cm
Realizado por:	José Sánchez	V. de Ensayos	0.24MPa/seg
Inercia:	32552.083mm	Longitud Libre:	360.00 mm
Revisado por:	Ing. Byron Lopez	Muestra:	Píllaro
TABLA DE RESULTADOS			

N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de falla
PIL1	2792.676	20.99838	96.51	8655.05	1.12	a
PIL2	2789.815	9.06075	96.42	13226.65	0.73	b
PIL3	3247.579	16.5215	112.24	10734.59	1.05	a
PIL4	2867.063	12.95888	99.09	10982.79	0.90	b
PIL5	3042.857	18.12075	105.16	11635.28	0.90	a
PIL6	2669.97	17.41775	92.27	11215.63	0.82	a
Promedio	2901.66	15.85	100.28	11075.00	0.92	
Desviación Estandar	209.218	4.22	7.231	1479.448	0.142	
Coefficiente de Variación	7.21	26.631	7.211	13.358	15.435	

Fuente: José L. Sánchez Dahua

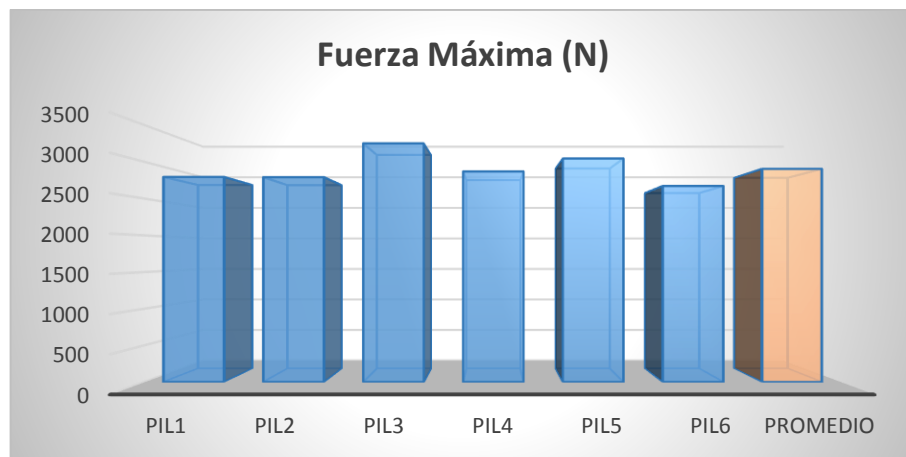


Figura 56. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

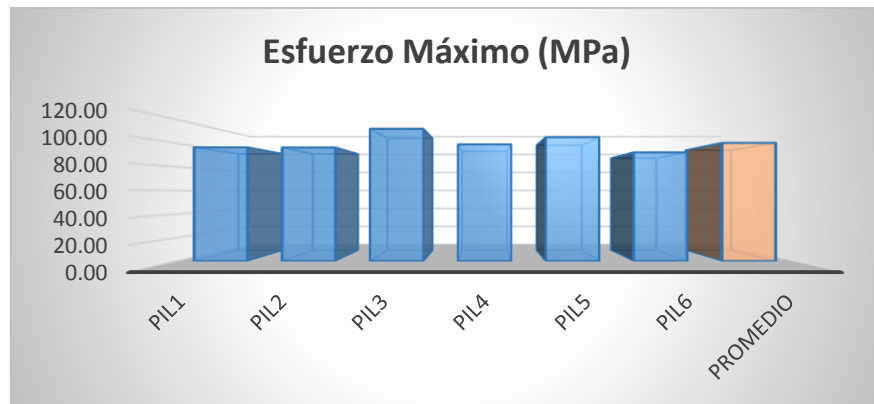


Figura 57. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José Sánchez

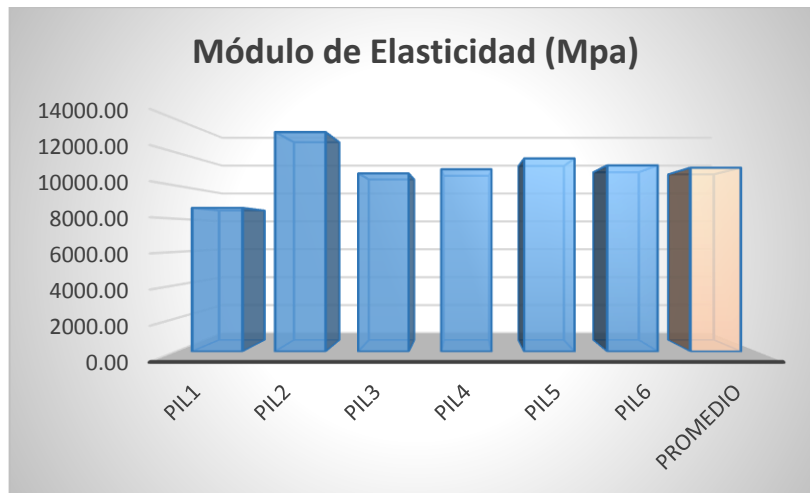


Figura 58. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

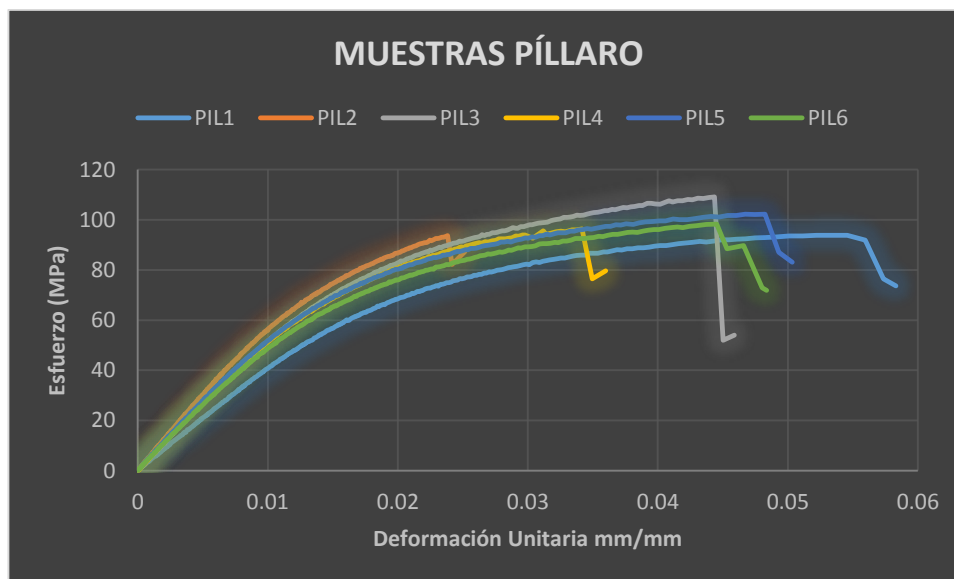


Figura 59. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 33. Ensayos a Flexión de Cevallos

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)			
Tipo de ensayo:	Flexión	C. de Humedad:	15.73%
Máquina:	SHIMADZU CONCRETO 2000X		
Norma	ASTM D143	Temperatura:	22 °C
Fecha de Ejecución	31/03/2021	Dimensiones	2.5X2.5X41cm
Realizado por:	José Sánchez	V. de Ensayos	0.24MPa/seg
Inercia:	32552.083mm	Longitud Libre:	360.00 mm
Revisado por:	Ing. Byron Lopez	Muestra:	Cevallos
TABLA DE RESULTADOS			

N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de falla
C1	2355.258	13.38588	81.40	8743.29	3.72	b
C2	2724.965	18.13713	94.17	10379.72	5.04	b
C3	2781.55	16.853	96.13	10717.67	4.68	a
C4	2338.409	14.69225	80.82	8958.33	4.08	b
C5	3140.132	15.92563	108.52	10295.60	4.42	a
C6	3617.923	14.069	125.04	11426.94	3.91	a
Promedio	2826.3728	15.51	97.68	10086.92	4.31	
Desviación Estandar	489.356	1.796	16.912	1039.406	0.499	
Coefficiente de Variación	17.314	11.58	17.314	10.304	11.583	

Fuente: José L. Sánchez Dahua

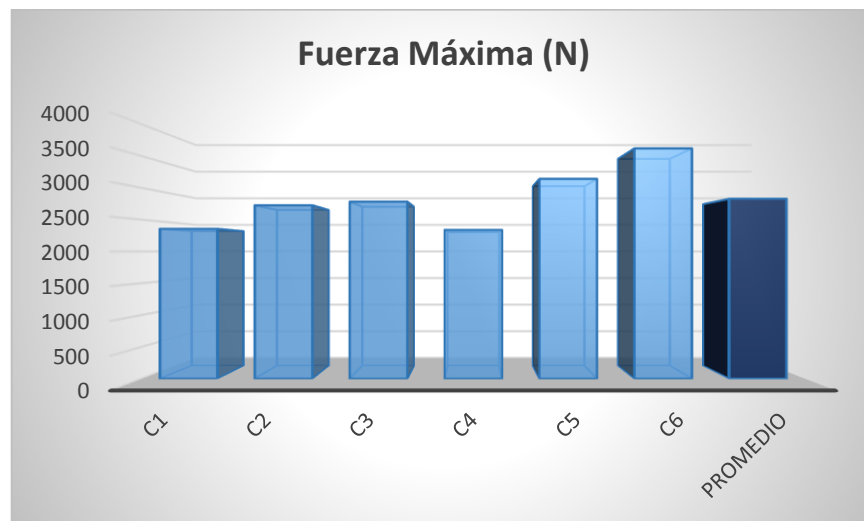


Figura 60. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

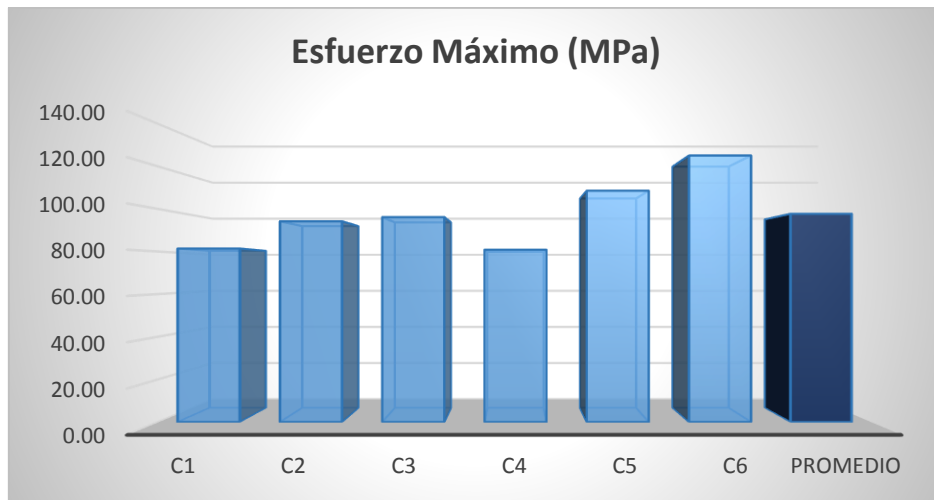


Figura 61. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

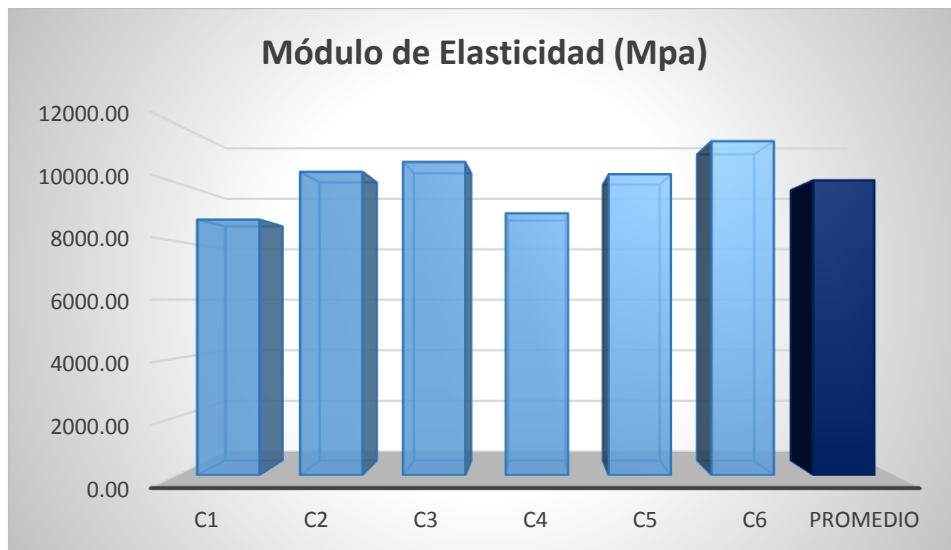


Figura 62. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

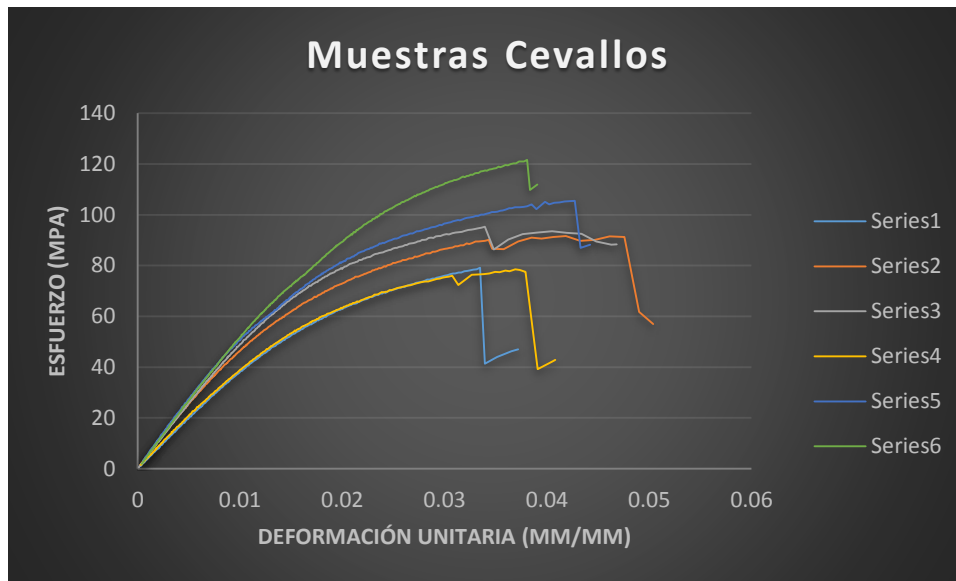



Figura 63. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 34. Ensayos a Flexión de Quero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA 			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)			
Tipo de ensayo:	Flexión	C. de Humedad:	16.93%
Máquina:	SHIMADZU CONCRETO 2000X		
Norma	ASTM D143	Temperatura:	22 °C
Fecha de Ejecución	31/03/2021	Dimensiones	2.5X2.5X41cm
Realizado por:	José Sánchez	V. de Ensayos	0.24MPa/seg
Inercia:	32552.083mm	Longitud Libre:	360.00 mm
Revisado por:	Ing. Byron Lopez	Muestra:	Quero
TABLA DE RESULTADOS			

N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de falla
Q1	2079.964	17.65225	71.88	7406.77	4.90	b
Q2	1719.475	15.30088	59.43	5782.95	4.25	b
Q3	2535.82	16.88175	87.64	8099.49	4.69	a
Q4	1813.253	17.42363	62.67	6512.49	4.84	b
Q5	1652.4	18.89475	57.11	4291.45	5.25	b
Q6	1419.385	17.72863	49.05	3972.52	4.92	c
Promedio	1870.0495	17.31	64.63	6010.95	4.81	
Desviación Estándar	390.815	1.186	13.507	1656.846	0.33	
Coefficiente de Variación	20.899	6.85	20.899	27.564	6.862	

Fuente: José L. Sánchez Dahua

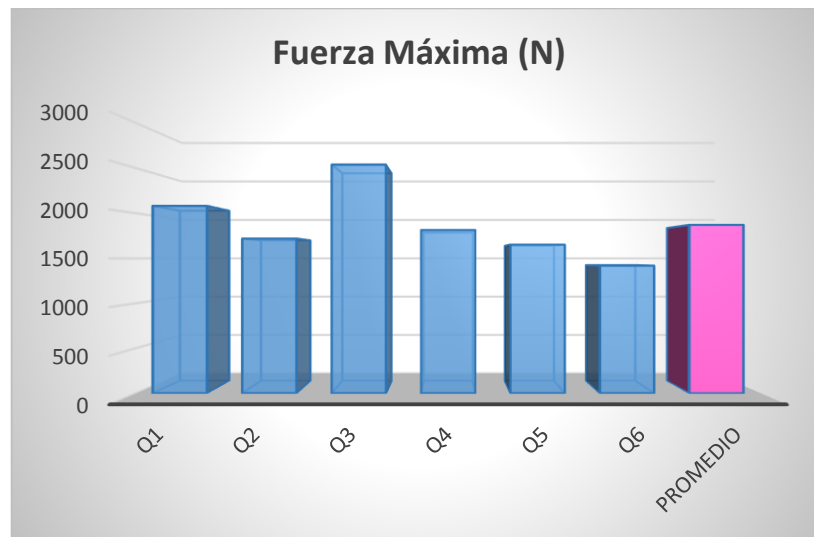


Figura 64. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

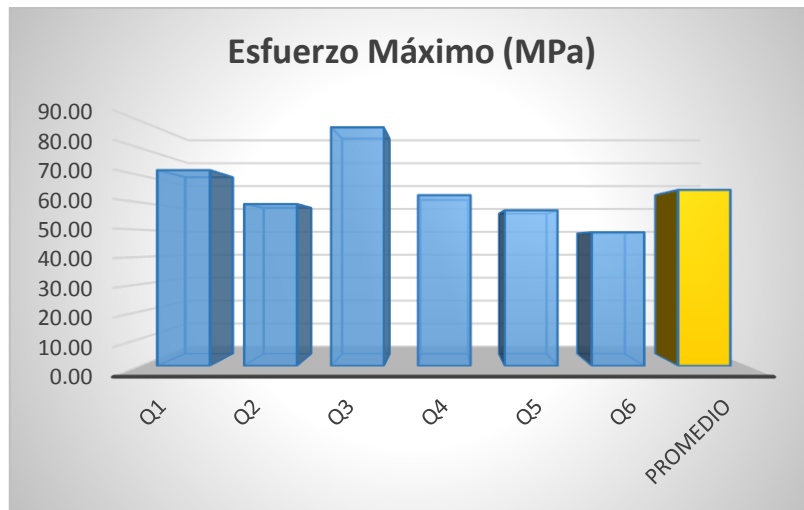


Figura 65. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

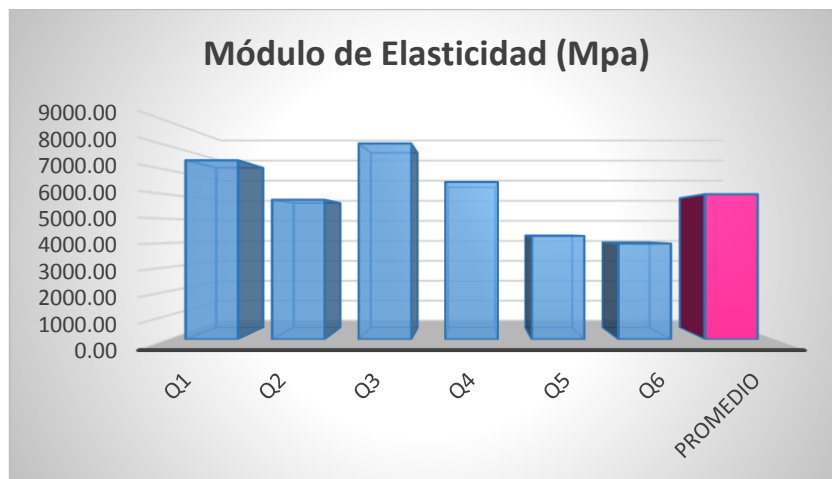


Figura 66. Módulo Elástico calculado


Fuente: José L. Sánchez Dahua



Figura 67. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 35. Ensayos a Flexión de Ambato

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)			
Tipo de ensayo:	Flexión	C. de Humedad:	17.26%
Máquina:	SHIMADZU CONCRETO 2000X		
Norma	ASTM D143	Temperatura:	22 °C
Fecha de Ejecución	31/03/2021	Dimensiones	2.5X2.5X41cm
Realizado por:	José Sánchez	V. de Ensayos	0.24MPa/seg
Inercia:	32552.083mm	Longitud Libre:	360.00 mm
Revisado por:	Ing. Byron Lopez	Muestra:	Ambato
TABLA DE RESULTADOS			

N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de falla
A1	2079.964	17.65225	71.88	7406.77	4.90	a
A2	2974.828	2.974828	102.81	12637.53	0.83	a
A3	2274.513	13.58438	78.61	9058.37	3.77	a
A4	1158.396	16.32113	40.03	5379.92	4.53	c
A5	1810.392	14.2865	62.57	5586.84	3.97	b
A6	2870.063	13.09713	99.19	11683.73	3.64	a
Promedio	1716.3488	10.81	59.32	7340.33	3.00	
Desviación Estandar	679.098	5.2	23.47	3062.322	1.444	
Coefficiente de Variación	30.943	40.043	30.943	35.503	40.033	

Fuente: José L. Sánchez Dahua

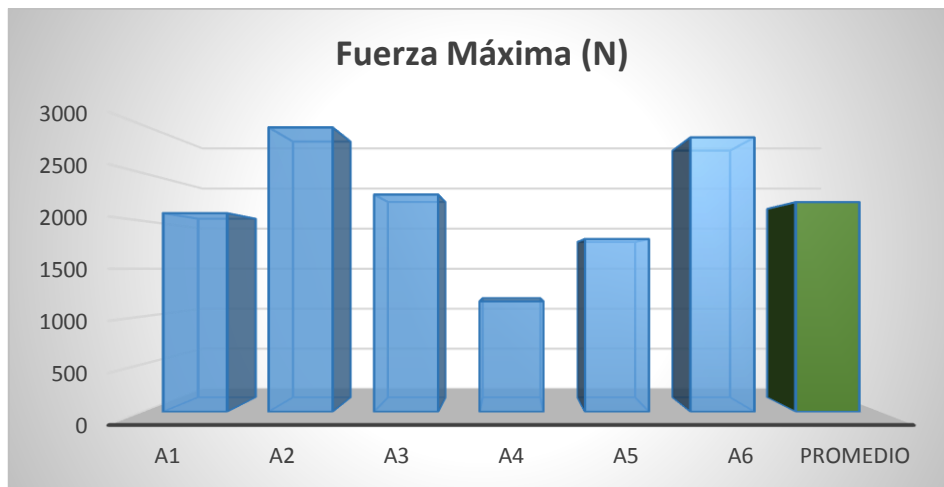


Figura 68. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José Sánchez

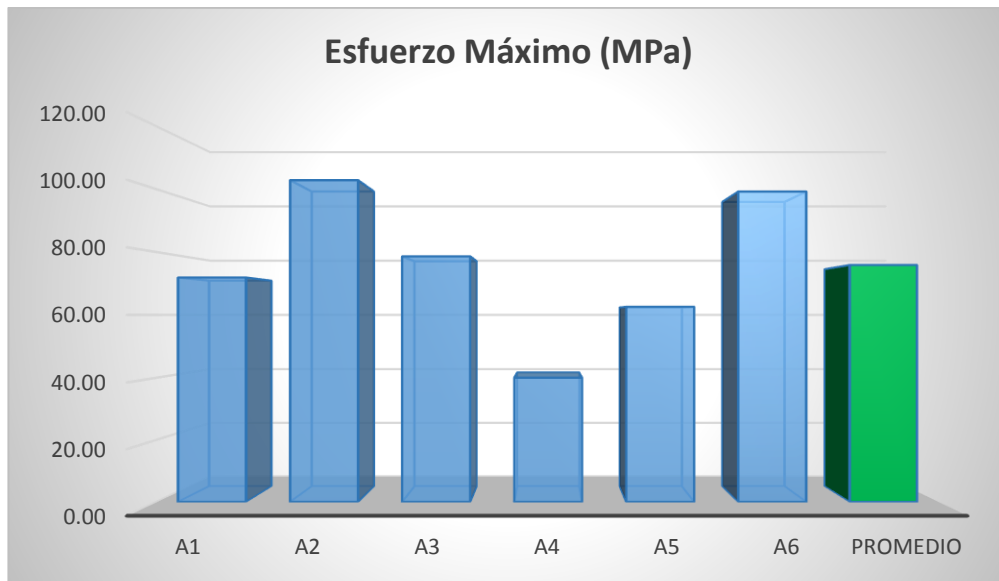


Figura 69. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

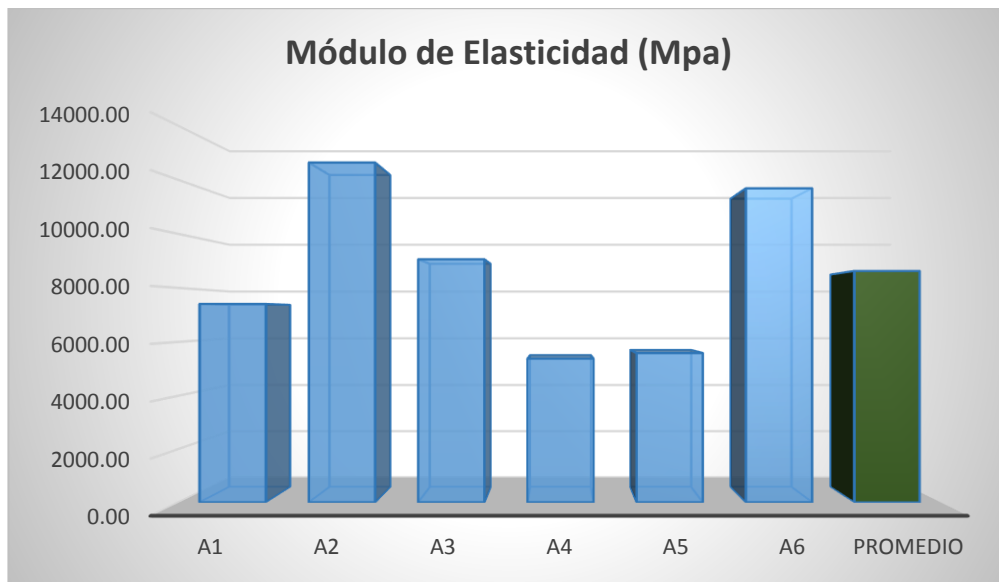


Figura 70. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

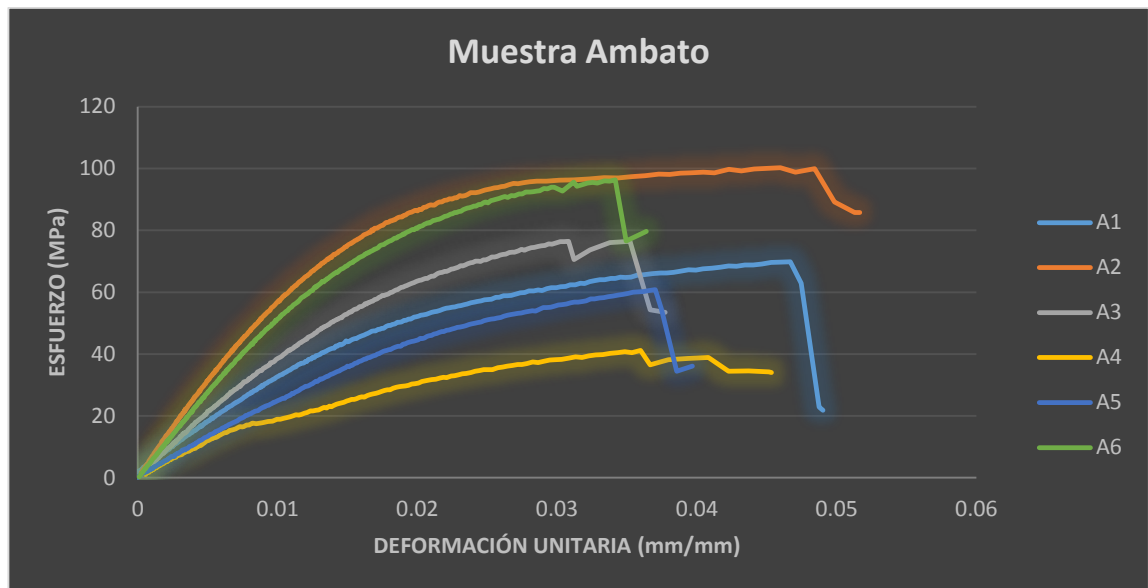


Figura 71. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria

Fuente: José L. Sánchez Dahua

3.1.3. Resultados del ensayo a tracción

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>			
<p>Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (<i>Eucalyptus</i>), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)</p>			
Tipo de ensayo:	Tracción paralela a la fibra	Contenido de Humedad:	
Máquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotest 1500K (STH-1500/CS)		
Norma	ASTM D143-14		
Fecha de Ejecución	30/03/2021	Dimensiones	460X25X25
Realizado por:	José Sánchez	Velocidad de Ensayos	1mm/min
Temperatura:	22.9° C	Zona Calibrada:	50mm

Revisado por:		Sitio de la Muestra	Patate			
TABLA DE RESULTADOS						
N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (mm)	Elongación (%) Calculada	Tipo de Falla
PT1	9200	123.228	1570.58	3.923	7.85	a
PT2	6550	107.007	1227.71	4.358	8.72	b
PT3	8850	136.505	1394.05	4.896	9.79	b
PT4	12150	198.444	1355.86	7.318	14.64	a
PT5	6950	120.002	2120.93	2.829	5.66	c
Promedio	8740	137.037	1533.825	4.665	9.33	
Desviación Estandar	2227.779	35.895	350.341	1.666	3.333	
Coefficiente de Variación	25.489	26.194	22.841	35.713	35.723	

Fuente: José L. Sánchez Dahua

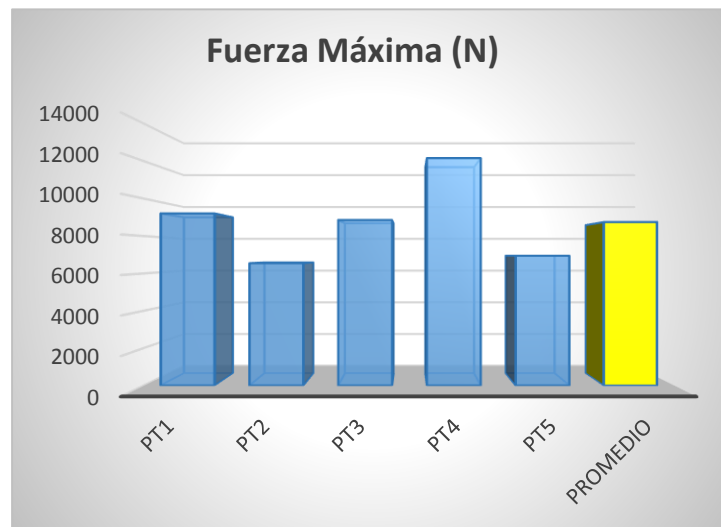


Figura 72. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

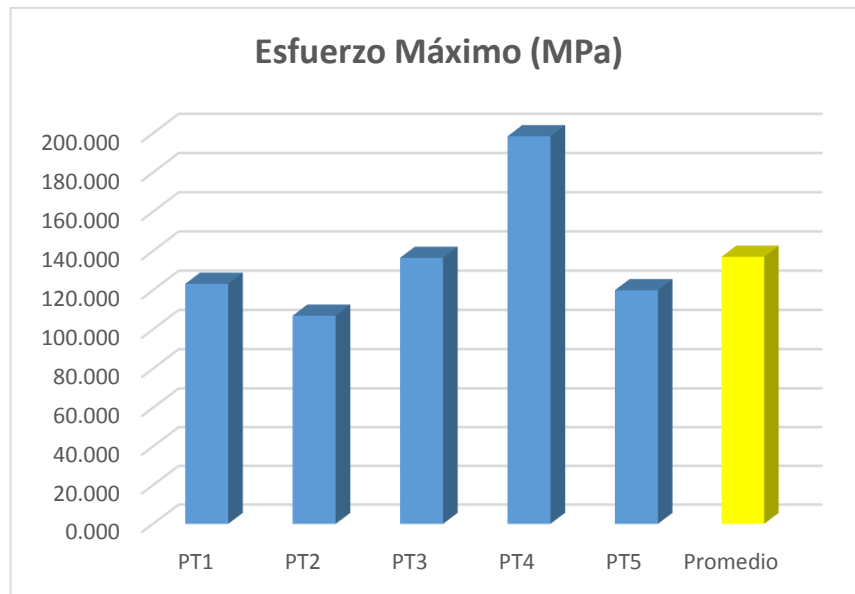


Figura 73. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

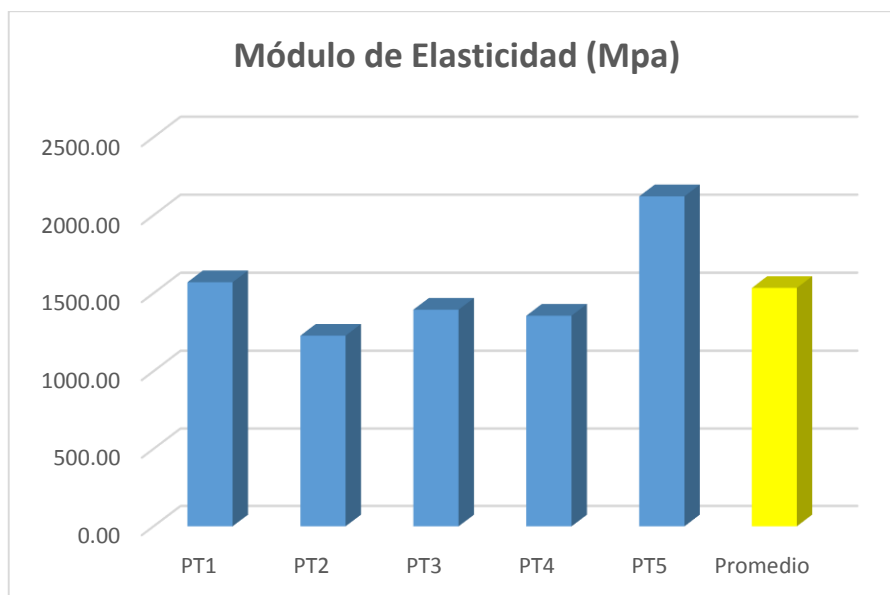


Figura 74. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

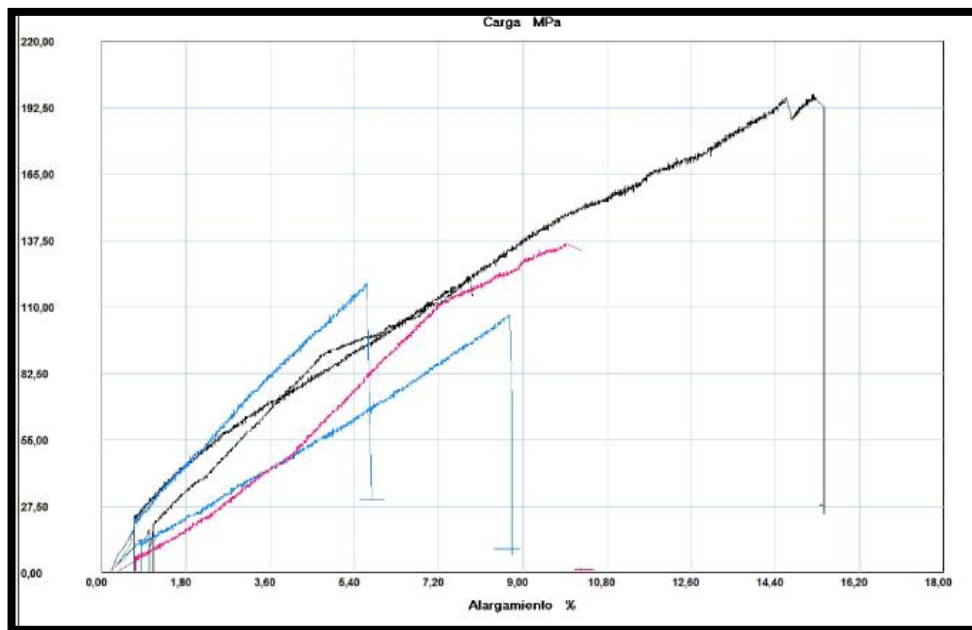


Figura 75. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 36. Ensayo a Tracción de Baños

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE IN GENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p style="text-align: center;">CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (<i>Eucalyptus</i>), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)</p>			
Tipo de ensayo:	Tracción paralela a la fibra	Contenido de Humedad:	
Máquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotest 1500K (STH-1500/CS)		
Norma	ASTM D143-14		
Fecha de Ejecución	30/03/2021	Dimensiones	460X25X2 5
Realizado por:	José Sánchez	Velocidad de Ensayos	1mm/min
Temperatura :	22.9° C	Zona Calibrada:	50mm

Revisado por:				Sitio de la Muestra		Baños
N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (mm)	Elongación (%) Calculada	Tipo de Falla
B1	9700	156.646	2491.98	3.143	6.29	b
B2	8400	132.199	2626.12	2.517	5.03	a
B3	10150	166.695	2157.59	3.863	7.73	a
B4	8450	135.195	2685.64	2.517	5.03	b
B5	9150	141.153	2572.97	2.743	5.49	b
Promedio	9170	146.378	2506.859	2.957	5.91	
Desviación Estandar	766.975	14.762	207.828	0.568	1.135	
Coefficiente de Variación	8.364	10.085	8.29	19.209	19.195	

Fuente: José L. Sánchez Dahua

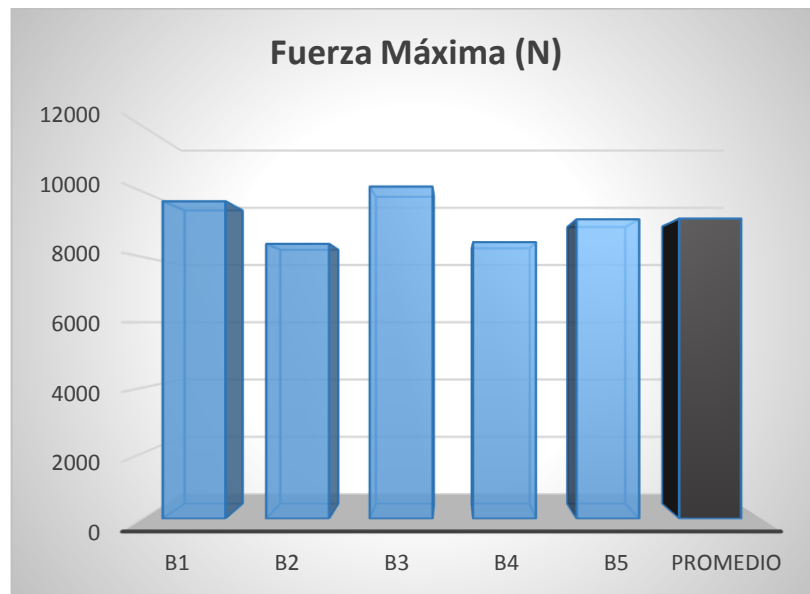


Figura 76. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

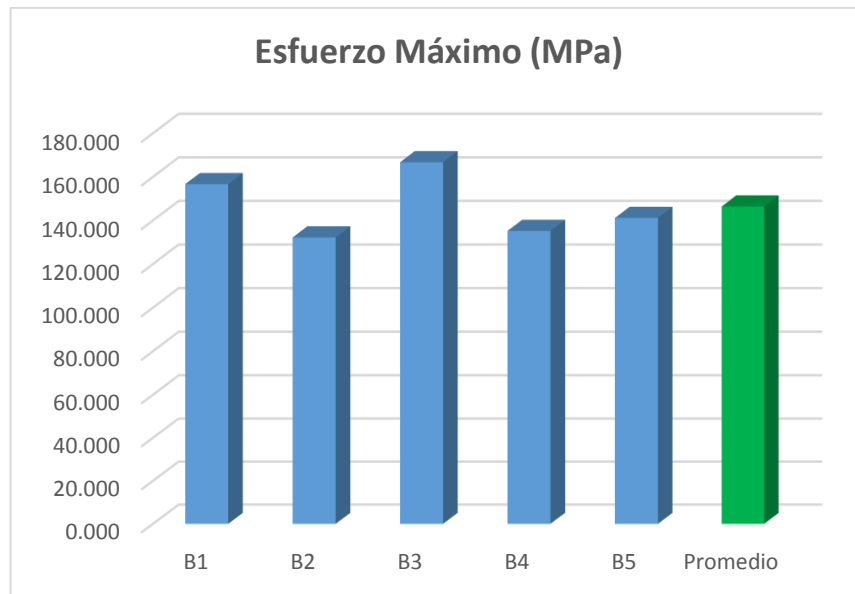


Figura 77. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

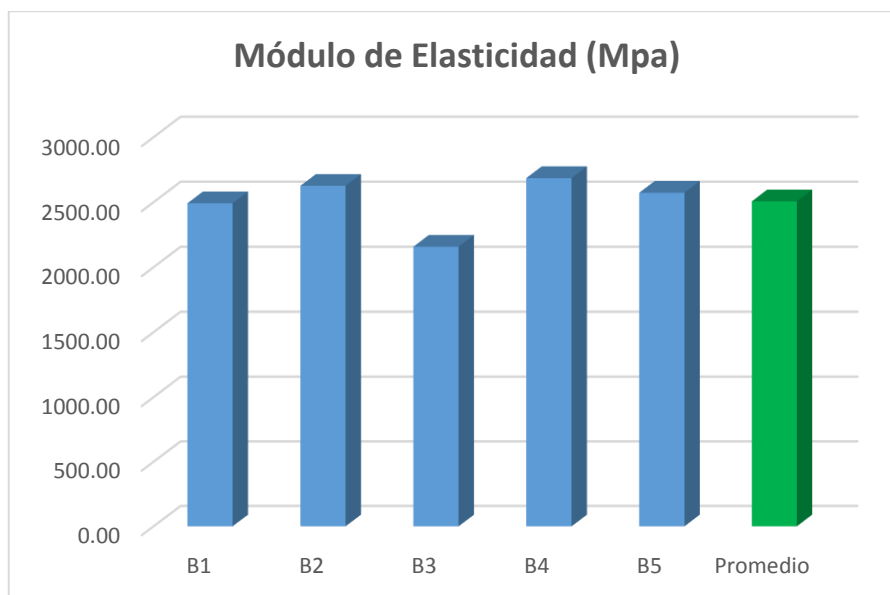


Figura 78. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

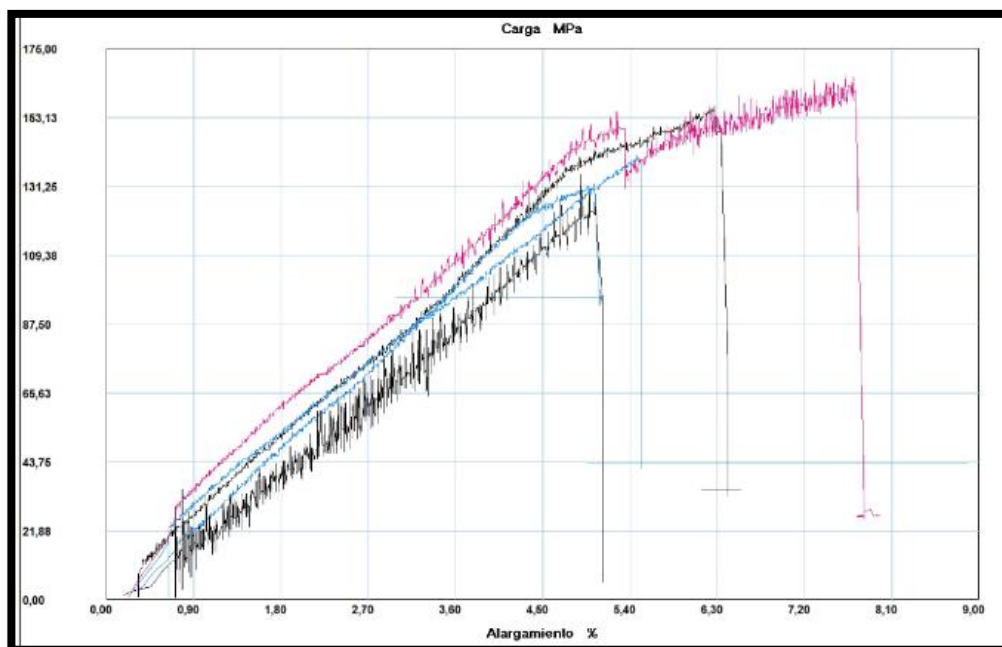


Figura 79. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria

Fuente: José L. Sánchez Dahua

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)						
Tipo de ensayo:	Tracción paralela a la fibra	Contenido de Humedad:				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotest 1500K (STH-1500/CS)					
Norma	ASTM D143-14					
Fecha de Ejecución	30/03/2021	Dimensiones	460X25X25			
Realizado por:	José Sánchez	Velocidad de Ensayos	1mm/min			
Temperatura:	22.9° C	Zona Calibrada:	50mm			
Revisado por:		Sitio de la Muestra	Cevallos			
N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (mm)	Elongación (%) Calculada	Tipo de Falla

C1	7750	119.808	2163.38	2.769	5.54	a
C2	3700	59.673	1702.02	1.75	3.51	b
C3	5250	85.207	1543.60	2.76	5.52	b
C4	6700	98.666	2358.18	2.09	4.18	b
C5	6000	104.131	2882.91	1.81	3.61	b
Promedio	5880	93.497	2130.018	2.236	4.47	
Desviación Estándar	1527.498	22.61	535.51	0.499	0.999	
Coefficiente de Variación	25.978	24.183	25.141	22.317	22.339	

Fuente: José L. Sánchez Dahua

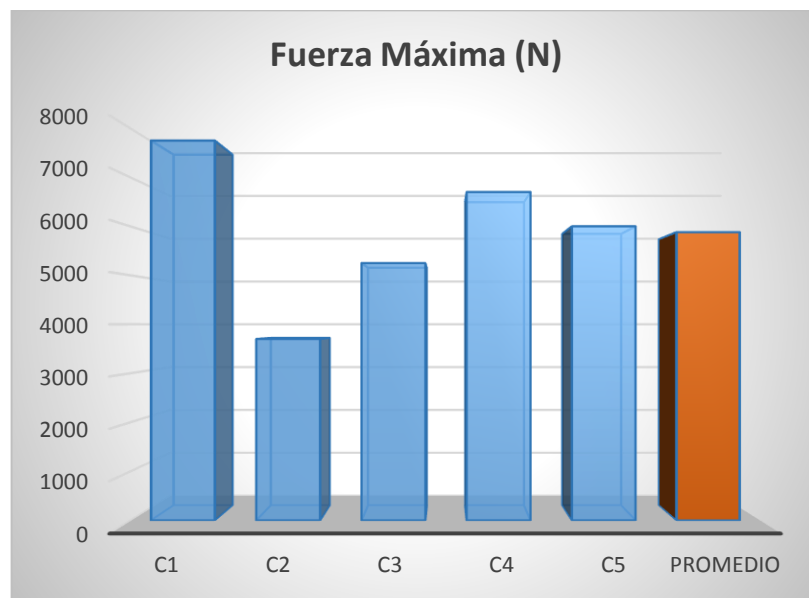


Figura 80. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

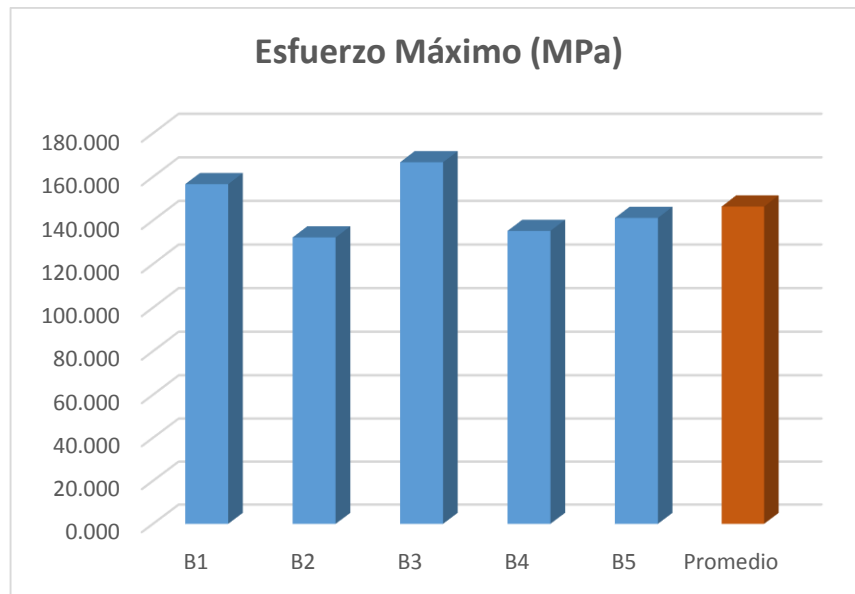


Figura 81. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

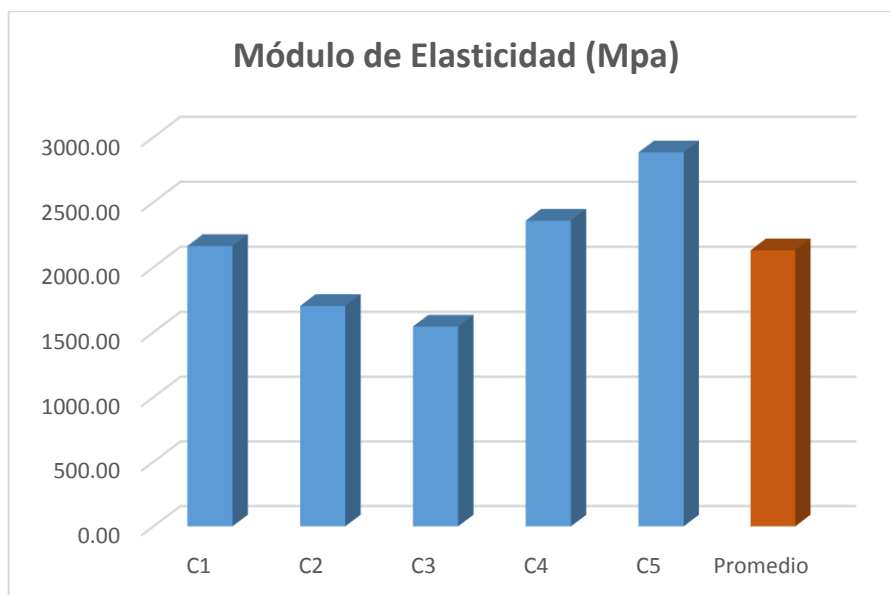


Figura 82. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

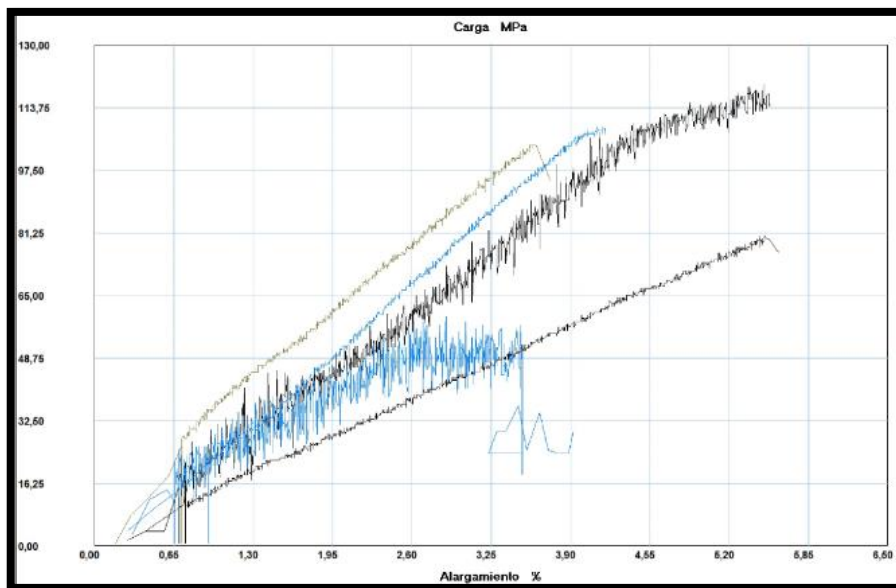




Figura 83. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 37. Ensayo a tracción de Píllaro

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)			
Tipo de ensayo:	Tracción paralela a la fibra	Contenido de Humedad:	
Máquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotest 1500K (STH-1500/CS)		
Norma	ASTM D143-14		
Fecha de Ejecución	30/03/2021	Dimensiones	460X25X25
Realizado por:	José Sánchez	Velocidad de Ensayos	1mm/min
Temperatura :	22.9° C	Zona Calibrada:	50mm
Revisado por:		Sitio de la Muestra	Píllaro

N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (mm)	Elongación (%) Calculada	Tipo de Falla
PIL1	10950	156.757	1719.96	4.557	9.11	a
PIL2	9800	154.982	1859.64	4.167	8.33	c
PIL3	6800	103.028	2119.05	2.431	4.86	b
PIL4	9100	130.761	1930.91	3.386	6.77	b
PIL5	5050	79.754	1971.18	2.023	4.05	c
Promedio	8340	125.056	1920.145	3.313	6.63	
Desviación Estandar	2383.118	33.431	146.644	1.087	2.174	
Coefficiente de Variación	28.575	26.733	7.637	32.81	32.81	

Fuente: José L. Sánchez Dahua

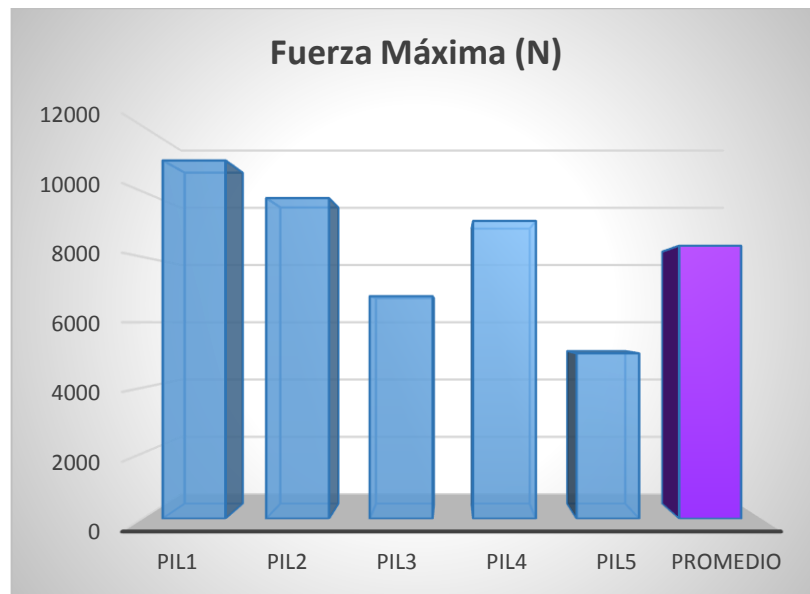


Figura 84. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

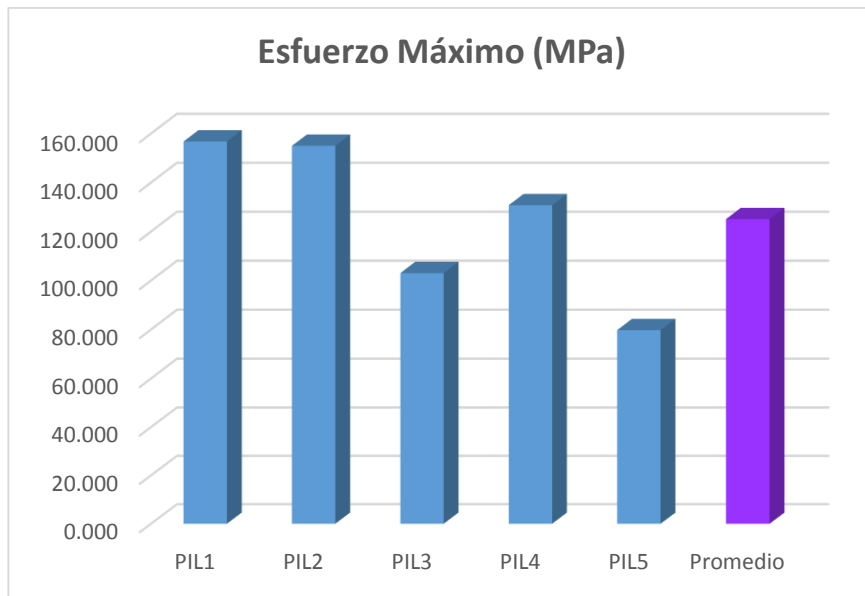


Figura 85. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

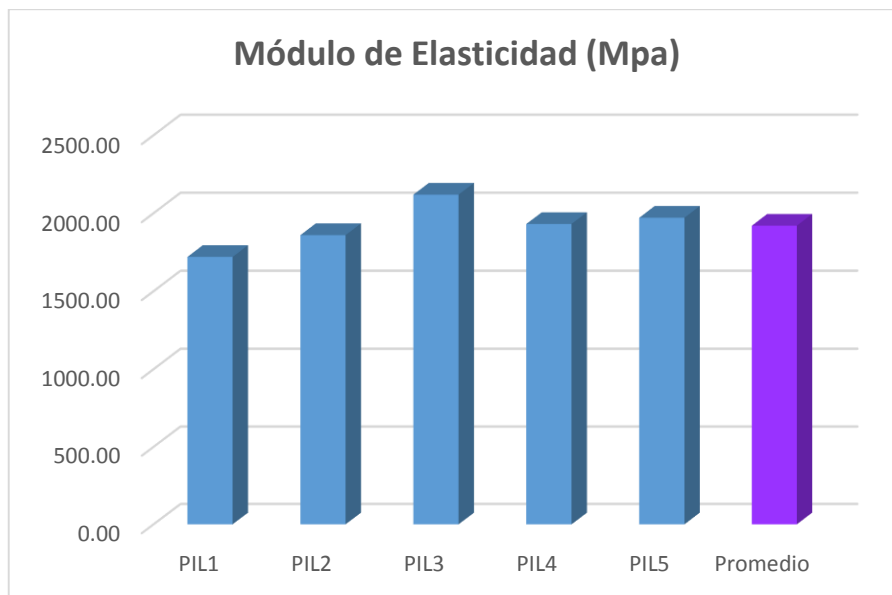


Figura 86. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

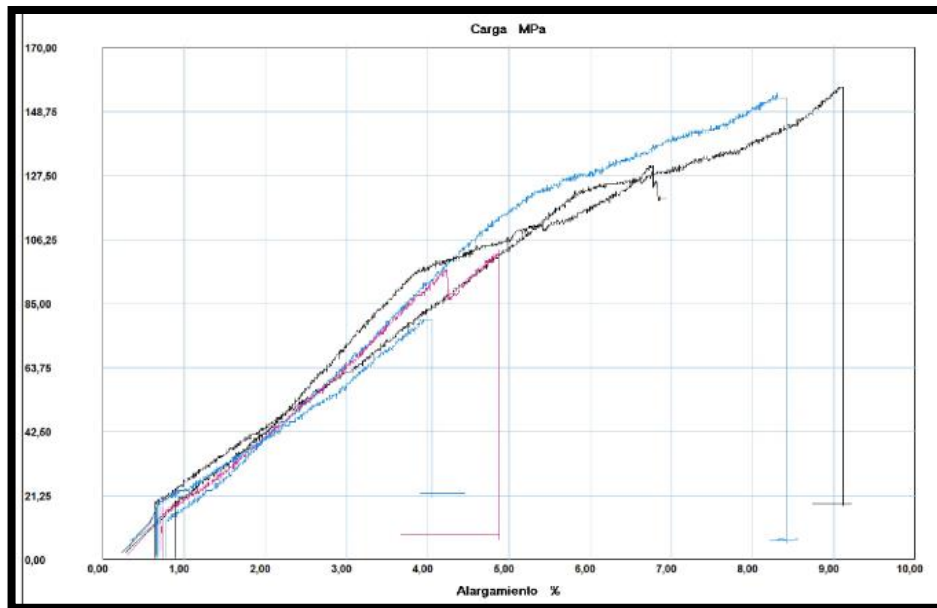


Figura 87. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 38. Ensayo a tracción de Ambato

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)			
Tipo de ensayo:	Tracción paralela a la fibra	Contenido de Humedad:	
Máquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotest 1500K (STH-1500/CS)		
Norma	ASTM D143-14		
Fecha de Ejecución	30/03/2021	Dimensiones	460X25X25
Realizado por:	José Sánchez	Velocidad de Ensayos	1mm/min
Temperatura:	22.9° C	Zona Calibrada:	50mm

Revisado por:					Sitio de la Muestra		Ambato
N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (mm)	Elongación (%) Calculada	Tipo de Falla	
A1	5100	78.460	1448.67	2.708	5.42	c	
A2	4350	63.1005	1521.23	2.07	4.15	c	
A3	5500	79.9214	1268.19	3.15	6.30	b	
A4	3850	59.1296	1238.58	2.39	4.77	c	
A5	6200	99.8163	1409.04	3.54	7.08	b	
Promedio	5000	76.086	1372.16	2.772	5.55		
Desviación Estándar	928.036	16.122	120.509	0.587	1.173		
Coefficiente de Variación	18.561	21.189	8.782	21.176	21.154		

Fuente: José L. Sánchez Dahua

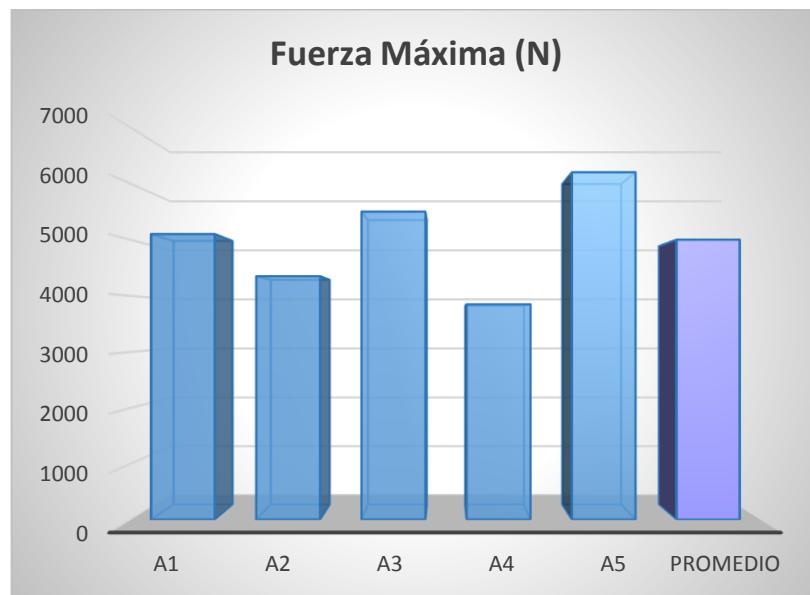


Figura 88. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

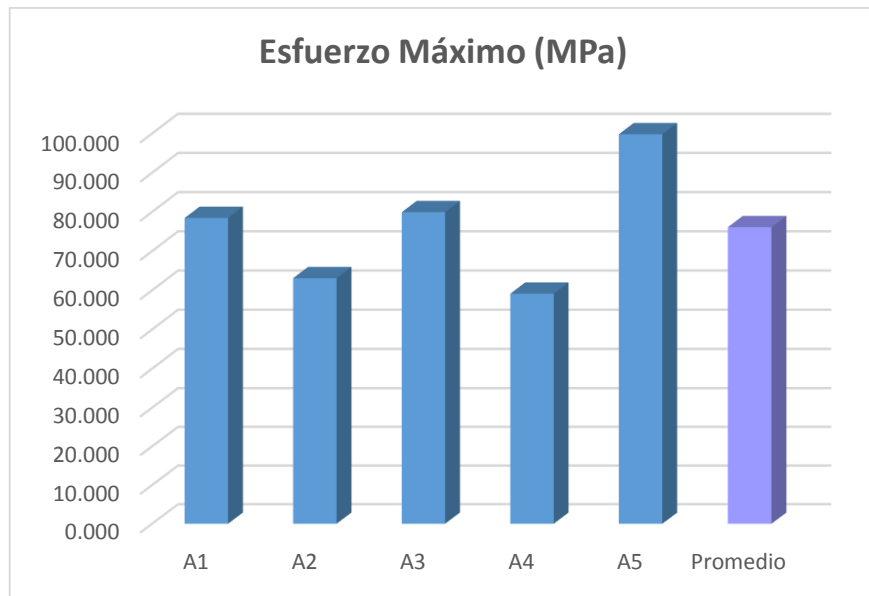


Figura 89. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

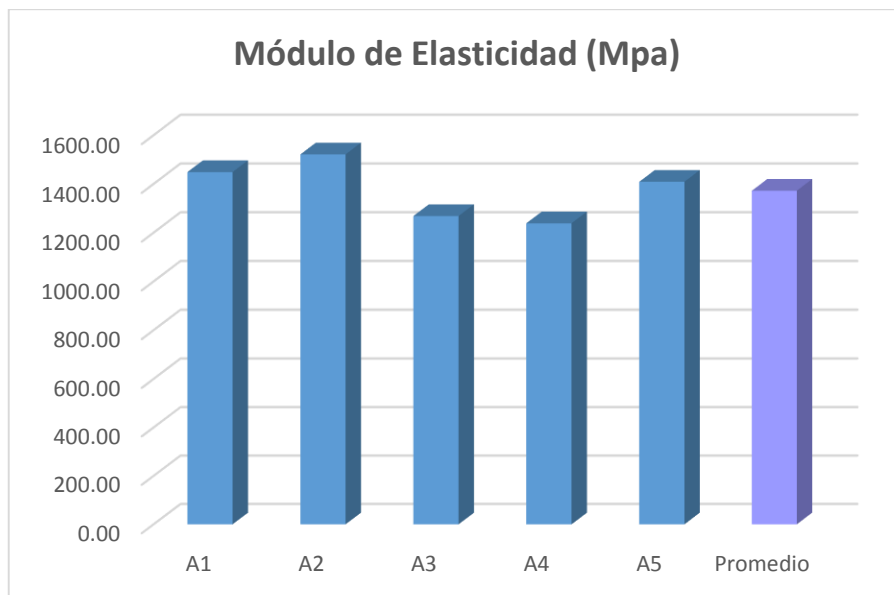


Figura 90. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

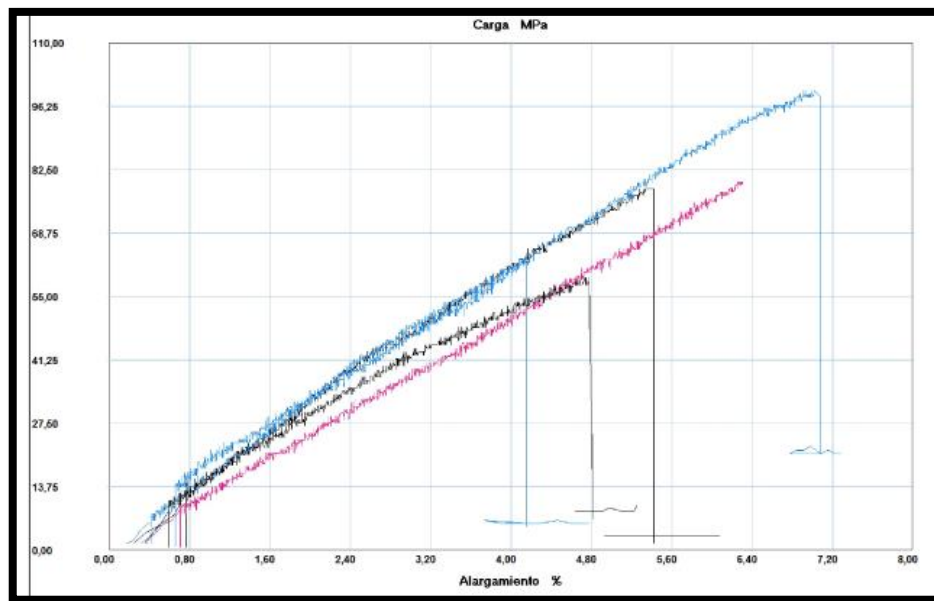


Figura 91. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 39. Ensayo a tracción de Pelileo

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)			
Tipo de ensayo:	Tracción paralela a la fibra	Contenido de Humedad:	
Máquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotest 1500K (STH-1500/CS)		
Norma	ASTM D143-14		
Fecha de Ejecución	30/03/2021	Dimensiones	460X25X25
Realizado por:	José Sánchez	Velocidad de Ensayos	1mm/min
Temperatura :	22.9° C	Zona Calibrada:	50mm

Revisado por:				Sitio de la Muestra		Pelileo
N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (mm)	Elongación (%) Calculada	Tipo de Falla
P1	3700	59.151	981.92	3.012	6.02	c
P2	7100	114.345	2504.27	2.28	4.57	b
P3	7100	115.016	2703.71	2.13	4.25	a
P4	8450	140.741	1351.20	5.21	10.42	a
P5	2600	44.642	1236.62	1.81	3.61	a
Promedio	5790	94.779	1641.48	2.772	5.77	
Desviación Estandar	2502.599	40.89	799.366	1.377	2.741	
Coefficiente de Variación	43.223	43.142	48.698	49.675	47.471	

Fuente: José L. Sánchez Dahua

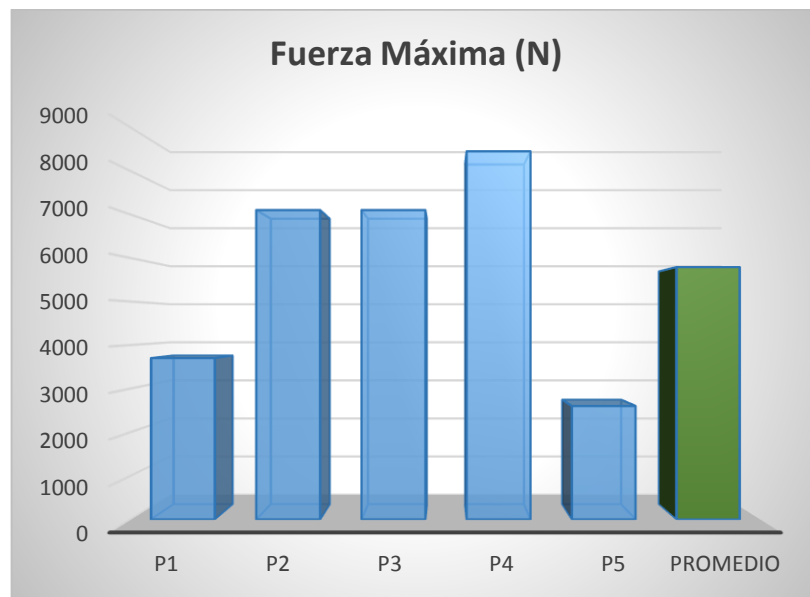


Figura 92. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

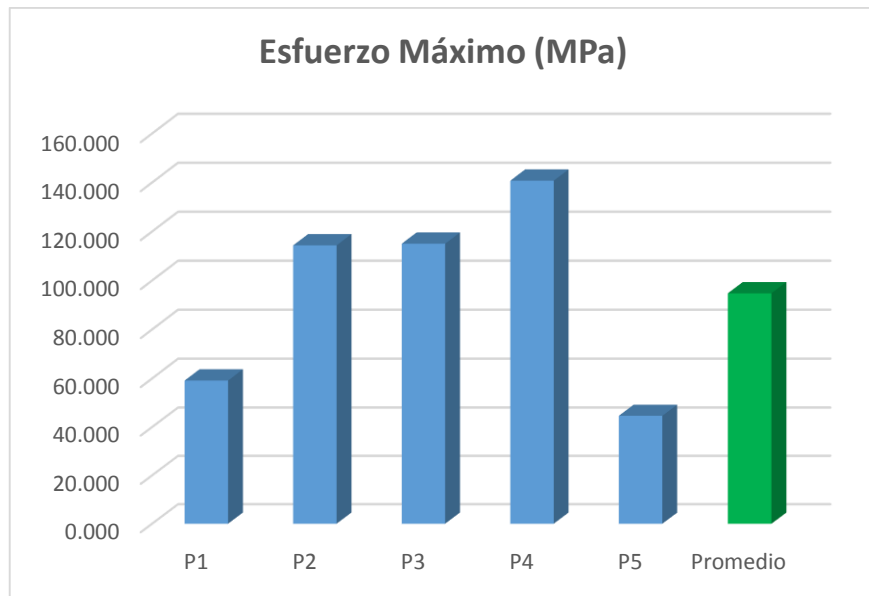


Figura 93. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

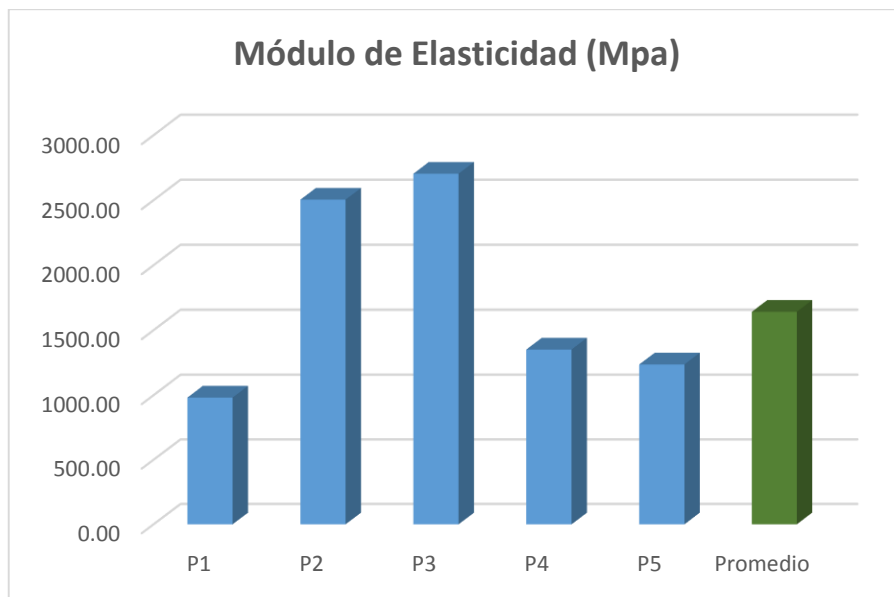


Figura 94. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

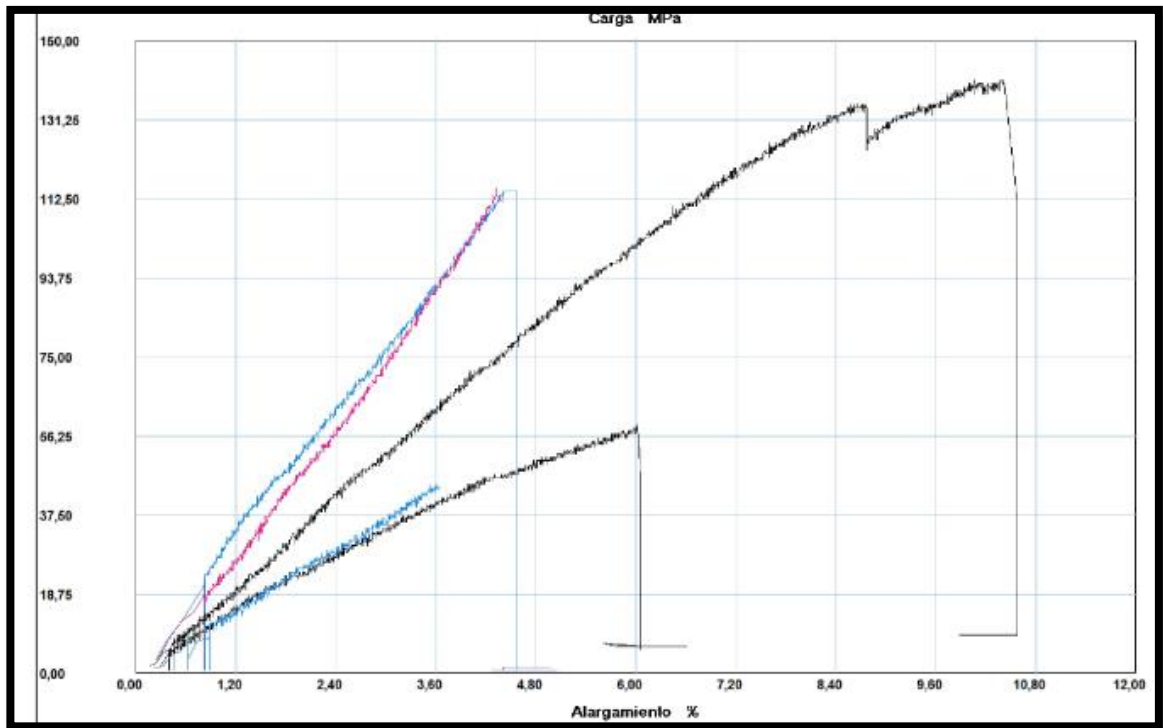


Figura 95. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria

Fuente: José L. Sánchez Dahua

Tabla 40. Ensayo a Tracción de Quero

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de Eucalipto (Eucalyptus), provenientes de Provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de Acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015)			
Tipo de ensayo:	Tracción paralela a la fibra	Contenido de Humedad:	
Máquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotest 1500K (STH-1500/CS)		
Norma	ASTM D143-14		
Fecha de Ejecución	30/03/2021	Dimensiones	460X25X25

Realizado por:		José Sánchez		Velocidad de Ensayos		1mm/min
Temperatura:		22.9° C		Zona Calibrada:		50mm
Revisado por:				Sitio de la Muestra		Quero
N° de probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Deformación Máxima (mm)	Elongación (%) Calculada	Tipo de Falla
Q1	10850	162.542	1785.78	4.551	9.10	
Q2	8150	124.9843	2278.24	2.743	5.49	
Q3	7850	110.7331	1903.94	2.908	5.82	
Q4	3400	54.0795	2289.63	2.604	5.21	
Q5	7200	115.2598	1236.61	2.517	5.03	
Promedio	7490	113.52	1898.84	3.065	6.13	
Desviación Estandar	2677.079	38.983	432.44	0.844	1.688	
Coefficiente de Variación	35.742	34.34	22.774	27.537	27.541	

Fuente: José L. Sánchez Dahua

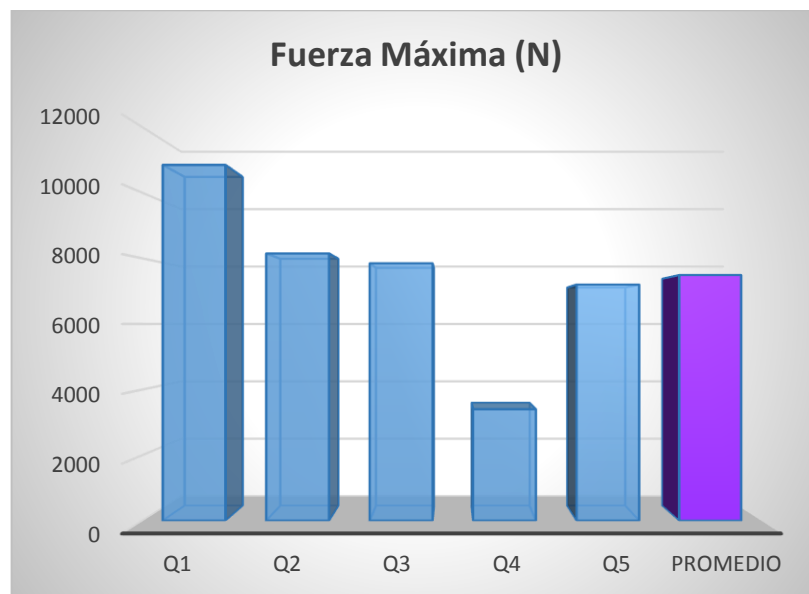


Figura 96. Gráfica de Fuerzas Máxima aplicadas

Fuente: José L. Sánchez Dahua

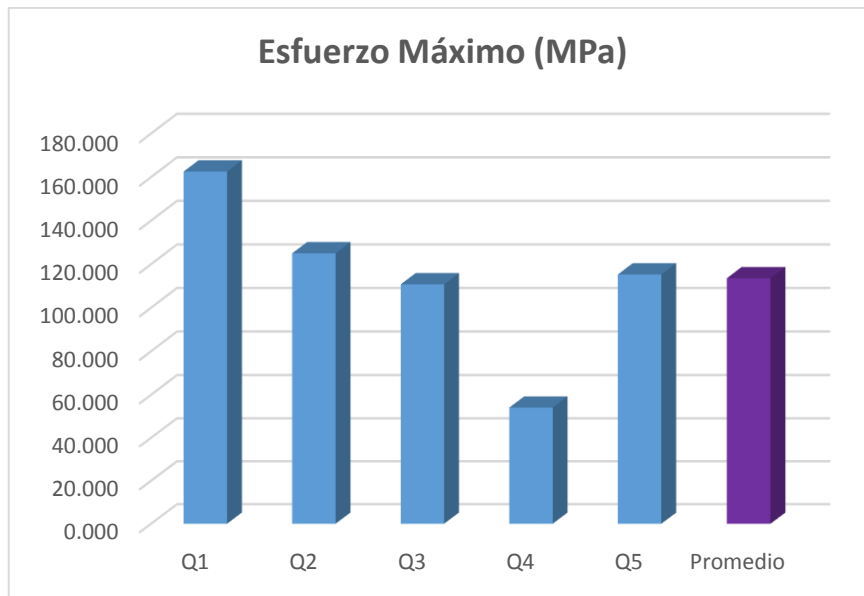


Figura 97. Gráfica de Esfuerzo Máximos

Fuente: José L. Sánchez Dahua

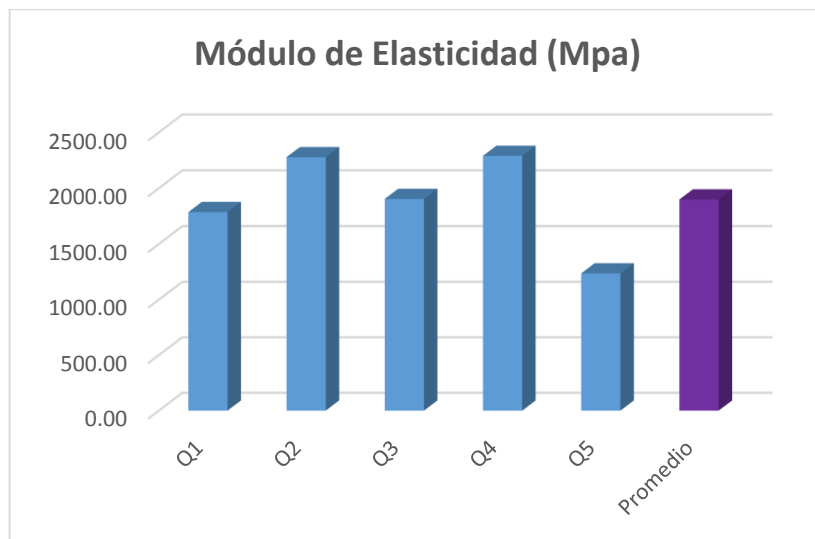


Figura 98. Módulo Elástico calculado

Fuente: José L. Sánchez Dahua

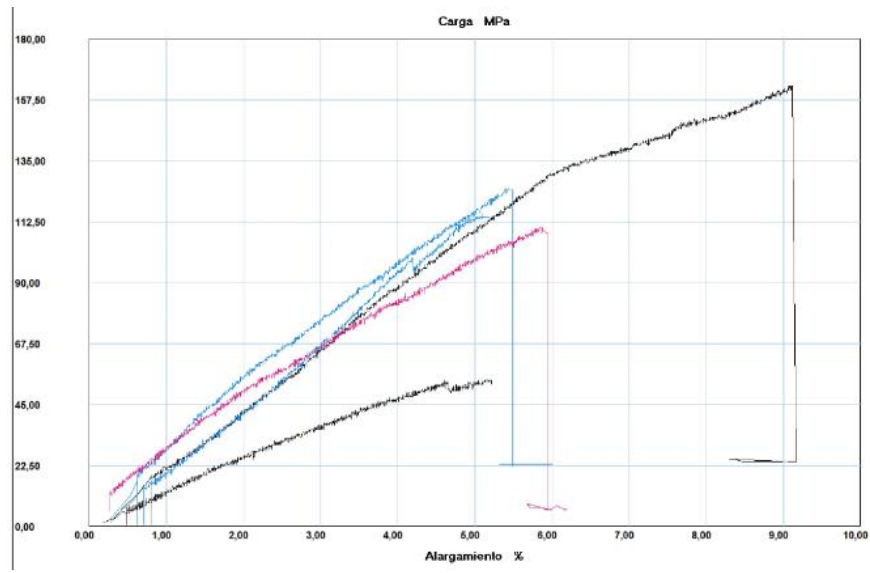


Figura 99. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria

Fuente: José L. Sánchez Dahua

3.2. Cálculos típicos

Contenido de humedad

$$Ch = \frac{P - Psh}{Psh} \times 100\%$$

$$Ch = \frac{97 - 83.8}{83.8} \times 100\%$$

$$Ch = 15.75\%$$

Ch = Contenido de Humedad

P = Masa Húmeda

Psh = Masa Anhidra

Ensayo a Flexión

Calculo del esfuerzo máximo

Punto de Inercia

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$I = \frac{25\text{mm} \times (25\text{mm})^3}{12}$$

$$I = 32552.08333 \text{ mm}^4$$

Esfuerzo máximo

$$\sigma_{max} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{3(2870.063\text{Pa} \times 360\text{mm})}{2 \times 25\text{mm} \times (25\text{mm})^2}$$

$$\sigma_{max} = 99.19\text{Pa}$$

Módulo de Elasticidad a Flexión

$$E_f = \frac{L^3 F}{48x\delta x I}$$

$$E_f = \frac{(360)^3 \times 1781.464\text{Pa}}{48 \times 9.318\text{mm} \times 32552.08333 \text{ mm}^4}$$

$$E_f = 8743.29\text{MPa}$$

Ensayos a tracción

Cálculos para tracción

Esfuerzo Máximo Calculado

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{10850\text{N}}{10\text{mm} \times 4.5\text{mm}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 162.542 \text{ MPa}$$

Módulo de elasticidad

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{4.551mm}{50mm} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 9.10\%$$

$$E = \frac{162.542 MPa}{0.0910}$$

$$E = 1785.78MPa$$

3.3.Verificación de la Hipótesis

Tras analizar los resultados de los esfuerzos máximos y módulos de elasticidad en el eucalipto, se obtuvo valores que demuestran que el módulo elástico de la madera de eucalipto está en el rango establecido en tabla de la NEC 2015 capítulo 8, y además superamos los esfuerzos admisibles presentados en las tablas de la NEC 2015 capítulo 8.

Por tal motivo la hipótesis no se cumple ya que no existe una variación apreciable con respecto a los Valores de las Tablas de NEC 2015 siendo los resultados obtenidos similares.

CAPITULO IV

Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

- Al elaborar los grupos de probetas con madera de eucalipto provenientes de los diferentes cantones de la provincia de Tungurahua, sus comportamientos en los ensayos reflejaron resultados diferentes entre probetas de un cantón a los otros cantones, además la madera presentó, pandeo y reducción de sus dimensiones desde su preparación en el aserradero, hasta realizar las pruebas de laboratorio.
- Se determinó la resistencia máxima a flexión y el módulo de elasticidad de la madera de eucalipto, en los diferentes cantones de la provincia de Tungurahua y los valores fueron:
 1. Para el Cantón Ambato:
 - Esfuerzo a Flexión (75.85 MPa)
 - Módulo de Elasticidad (8625.53 MPa)
 2. Para el cantón Pelileo:
 - Esfuerzo a Flexión (106.55 MPa.)
 - Módulo de Elasticidad (11366.18 MPa)
 3. Para el cantón Píllaro:
 - Esfuerzo a Flexión (100.28MPa.)
 - Módulo de Elasticidad (11075 MPa)
 4. Para el cantón Patate:
 - Esfuerzo a Flexión (100.01MPa.)
 - Módulo de Elasticidad (9992.84 MPa)
 5. Para el cantón Baños:
 - Esfuerzo a Flexión (111.59MPa.)
 - Módulo de Elasticidad (11005.68 MPa)

6. Para el cantón Cevallos:
 - Esfuerzo a Flexión (97.68MPa.)
 - Módulo de Elasticidad (10086.92 MPa)
 7. Para el cantón Quero:
 - Esfuerzo a Flexión (64.63 MPa.)
 - Módulo de Elasticidad (6010.95 MPa)
- Se determinó la resistencia a tracción y módulo de elasticidad de la madera de eucalipto de los diferentes cantones y los valores fueron:
 1. Para el Cantón Ambato:
 - Esfuerzo a tracción (76.086 MPa)
 - Módulo de Elasticidad (1372.16 MPa)
 2. Para el cantón Pelileo:
 - Esfuerzo a tracción (94.779 MPa.)
 - Módulo de Elasticidad (1641.48 MPa)
 3. Para el cantón Píllaro:
 - Esfuerzo a tracción (125.056MPa.)
 - Módulo de Elasticidad (1920.145 MPa)
 4. Para el cantón Patate:
 - Esfuerzo a tracción (137.037MPa.)
 - Módulo de Elasticidad (1533.825 MPa)
 5. Para el cantón Baños:
 - Esfuerzo a tracción (146.378 MPa.)
 - Módulo de Elasticidad (2506.859 MPa)
 6. Para el cantón Cevallos:
 - Esfuerzo a tracción (93.497MPa.)
 - Módulo de Elasticidad (2130.018 MPa)
 7. Para el cantón Quero:
 - Esfuerzo a tracción (113.52MPa.)
 - Módulo de Elasticidad (1898.84 MPa)

- Se elaboró una tabla con los datos obtenidos donde podemos ubicar los valores de Módulos de Elasticidad y Esfuerzos Máximos del Eucalipto en los cantones de la provincia de Tungurahua, además se agregó guías de ensayos a flexión y tracción paralela a la fibra en madera para futuros estudios los cuales se encuentran en las tablas de datos con un código QR. En el anexo 2.
- Se concluyó que el módulo de elasticidad promedio de madera de eucalipto obtenido de Tungurahua es de 9450 MPa, ingresando en el rango de acuerdo a la clasificación establecida por la NEC 2015 (capítulo 8), el eucalipto se clasifica en la categoría de madera estructural Tipo B, donde el rango del módulo de elasticidad es de 7000 a 10000 MPa.
- Se concluyó que el esfuerzo máximo a flexión promedio de madera de eucalipto obtenido de Tungurahua es de 63.79 MPa, superando al esfuerzo admisible de acuerdo a la clasificación establecida por la NEC 2015 (capítulo 8), el eucalipto se clasifica en la categoría de madera estructural Tipo B, donde el esfuerzo admisible es de 15 MPa.
- Se concluyó que el esfuerzo máximo a tracción paralelo a la fibra promedio de madera de eucalipto obtenido de Tungurahua es de 98.05 MPa, superando al esfuerzo admisible de acuerdo a la clasificación establecida por la NEC 2015 (capítulo 8), el eucalipto se clasifica en la categoría de madera estructural Tipo B, donde el esfuerzo admisible es de 10.5 MPa.
- Se estableció que la madera por su proceso de secado al natural y corto tiempo, el contenido promedio de humedad fue de 15.80%, en los cantones de la provincia de Tungurahua, es decir, se encuentra en el rango tolerable de acuerdo a especificaciones de trabajo en maderas,
- Se concluye que el contenido de humedad, tuvo influencia en la resistencia, deformaciones, elongaciones y flexibilidad de la madera de eucalipto.
- Se determinó que la madera con mejores propiedades mecánicas, flexión y tracción paralela a la fibra, proviene del cantón Baños de acuerdo a los resultados obtenidos.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda que las probetas desde su preparación en el aserradero hasta las pruebas de laboratorio, tenga un lapso máximo de tiempo de una semana para evitar alteraciones de la madera por agentes externos. Además, la máquina donde se realice los ensayos deberá estar calibrada de acuerdo a la Norma INEN 20862 para una mayor fiabilidad de los resultados.
- Se recomienda utilizar por los resultados obtenidos en los ensayos a flexión y tracción paralelo a la fibra, la madera de eucalipto proveniente del Cantón Baños.
- Se recomienda la utilización de la tabla del anexo 2 y las guías de ensayos para futuros experimentos con otros tipos de maderas.
- Se recomienda utilizar el módulo elástico obtenido de la madera de eucalipto de la provincia de Tungurahua para el diseño de elementos estructurales de madera.
- Se recomienda utilizar el esfuerzo máximo a flexión obtenido de la madera de eucalipto de la provincia de Tungurahua para el diseño de elementos estructurales de madera.
- Se recomienda para que la madera tenga mayor resistencia el periodo de secado al aire libre, sea mínimo o mayor a un año para obtener mejores resultados.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Rivas y J. C. Joachin, Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Petén, Guatemala, 2006.
- [2] F. R. Recalde Vasquez, Diseño de elementos estructurales utilizando madera laminada, Quito, 2015.
- [3] Á. Pérez Ortega, Comparación de ensayos a compresión de madera estructural mediante Norma Une y Norma ASTM, Valladolid, 2014.
- [4] J. Crespo, A. Majano, A. J. Lara y M. Guaita, «Mechanical Properties of Small Clear Specimens of Eucalyptus globulus Labill,» *Materials*, nº 13,906, p. 12, 2020.
- [5] AITIM - ASOCIACIÓN DE INVESTIGACIÓN TÉCNICA DE LAS INDUSTRIAS DE LA MADERA, «Madera en construcción y estructuras: Información General,» 2016. [En línea]. Available: https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_191_construccion.pdf. [Último acceso: 28 11 2020].
- [6] Editorial Protiendas, S.L., «Madera en la construcción Estética y Sostenible en un Único Material,» *Promateriales (Arquitectura y Materiales de Construcción)*, p. 8, 2016.
- [7] Darmono, M. Faquih y W. P. Slamet, «Analysi of Mechanical Propities of Timber Materials,» *Journal of Physics: Conference Series*, nº 1387012093, 2019.
- [8] CONFEMADERA (Confederación de Empresarios de la Madera), *Madera en Contrucción*, Bruselas, 2004.
- [9] A. M. Econ.MBA. Sánchez, T. Econ.MBA. Vayas, I. M. Fernando y I. C. Freire, «Sector Maderero Ecuador,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2020.
- [10] Junta del Acuerdo de Cartagena, *Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino*, Lima, 1984.
- [11] E. Gomez y M. Ramírez, «Análisis y estudio del contenido de Humedad Final de la madera,» *Revista Ingeniería Industrial*, nº 1, p. 9, 2006.
- [12] MIDUVI (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda), *Norma Ecuatoriana de la Construcción*, Quito, 2015.
- [13] Wood SRL Madera laminada., «Wood Madera laminada Premium,» 2016. [En línea]. Available: <https://woodsrl.com.ar/la-madera-y-su-comportamiento-frente-al-fuego/>. [Último acceso: 12 12 2020].

- [14] Maderea, «Maderea,» 16 mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.maderea.es/maderayfuego/>. [Último acceso: 12 12 2020].
- [15] J. P. Majada, L. G. Andres, O. Lucinda y C. Carvalho, «Eucalyptus globulus Labill.» ResearchGate, 2012.
- [16] V. Marco, «Ecuador Forestal,» 23 Julio 2013. [En línea]. Available: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-15-eucalyptus-globulus-labill/>. [Último acceso: febrero 2020].
- [17] J. C. Siza Simbaña y J. E. Martínez Escobar, “PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL EUCALIPTO Y APLICACIÓN ADISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA PARTE DE UNA GRANJA INTEGRAL, UBICADA EN EL IASA I”, Sangolquí, 2009.
- [18] ASTM International, ASTM standard (Standard Test Methods for small clear specimens of timber), West Conshohocken, 2000.
- [19] J. Bodig y B. A. Jayne, Mechanics of Wood and Wood Composites, Malabar, Florida: Krieger Publishing, 1993.
- [20] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, «Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda MIDUVI,» 2015. [En línea]. Available: https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/01/Preguntas-y-Respuestas_NEC.pdf. [Último acceso: 12 05 2021].

ANEXOS

Anexo 1: Fotografías

Fotografía 1	Fotografía 2
	
Talado de Árbol de Eucalipto	Corte en secciones del tronco

<p style="text-align: center;">Fotografía 3</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 4</p> 
<p>Cierra Circular para cortar Troncos</p>	<p>Obteniendo muestras para ensayos</p>
<p>Fotografía 5</p>	<p>Fotografía 6</p>
	
<p>Probetas a Flexión de cada cantón ensayado</p>	<p>Probeta de tracción paralelo a fibra de cada cantón ensayado</p>

Anexo 2: Tabla de Resultados y Código QR para acceder a Manuales de Ensayos

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
VALORES REFERENCIALES DE ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MADERA DE EUCALIPTO PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
TIPO DE ENSAYO	ESFUERZO MÁXIMO (Mpa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)
ENSAYO A FLEXIÓN	63.79 Mpa	9450 Mpa
ENSAYO A TRACCIÓN PARALELO A LA FIBRA	98.05 Mpa	1087.61
VALORES REFERENCIALES DE ESFUERZOS MÁXIMOS DE EUCALIPTO PROVENIENTE DE VARIOS CANTONES DE TUNGURAHUA		
SITIO DE LA MUESTRA	ESFUERZO A FLEXIÓN	ESFUERZO A TRACCIÓN PARALELO A LA FIBRA
BAÑOS	111.59 Mpa	146.378 Mpa
AMBATO	75.85 Mpa	76.086 Mpa
PATATE	100.01 Mpa	137.037 Mpa
QUERO	64.63 Mpa	113.52 MPa.
CEVALLOS	97.68 Mpa	93.497 MPa.
PELILEO	106.55 Mpa	94.779 MPa.
PÍLLARO	100.28 Mpa	125.056 Mpa

VALORES REFERENCIALES DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DE EUCALIPTO PROVENIENTE DE VARIOS CANTONES DE TUNGURAHUA		
SITIO DE LA MUESTRA	ESFUERZO A FLEXIÓN	ESFUERZO A TRACCIÓN PARALELO A LA FIBRA
BAÑOS	11005.68 Mpa	2506.859 Mpa
AMBATO	8625.53 Mpa	1372.16 Mpa
PATATE	9992.84 Mpa	1533.825 Mpa
QUERO	6010.95 Mpa	1898.84 Mpa
CEVALLOS	10086.92 Mpa	2130.018 Mpa
PELILEO	11366.18 Mpa	1641.48 Mpa
PÍLLARO	11075 Mpa	1920.145 Mpa
		
<p>Escanea el Código QR, para poder ver las Guías de Ensayos</p>		

Anexo 3: Norma ASTM D 143

ANEXO D



Designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000)^{e1}

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 approval. 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.

^{e1} 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.

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.

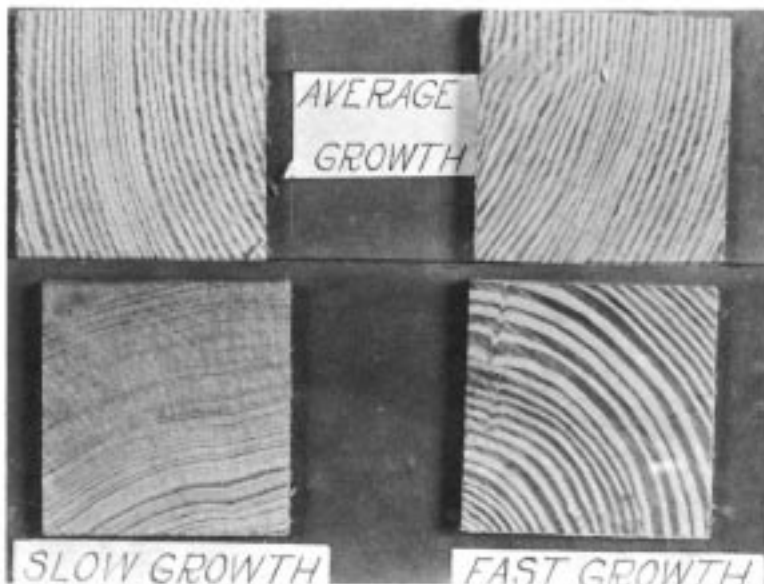


FIG. 1 Cross Sections of Bending Specimens Showing Different Rates of Growth of Longleaf Pine (2 by 2-in. (50 by 50-mm) Specimens)



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 $68 + 6^{\circ}\text{F}$ ($20 + 3^{\circ}\text{C}$). 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

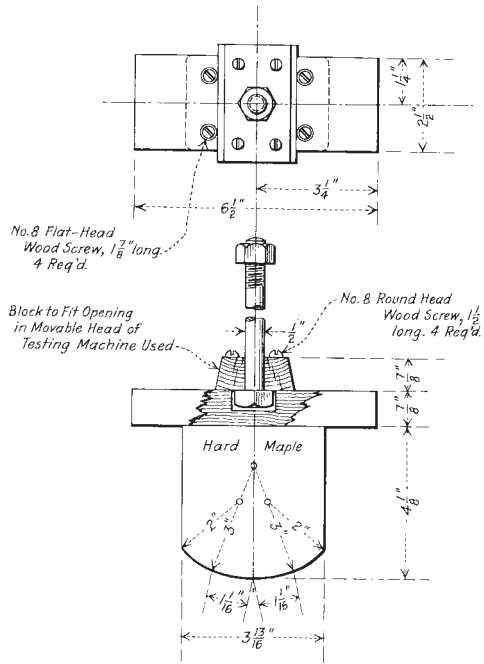


FIG. 4 Details of Bearing Block for Static Bending Tests

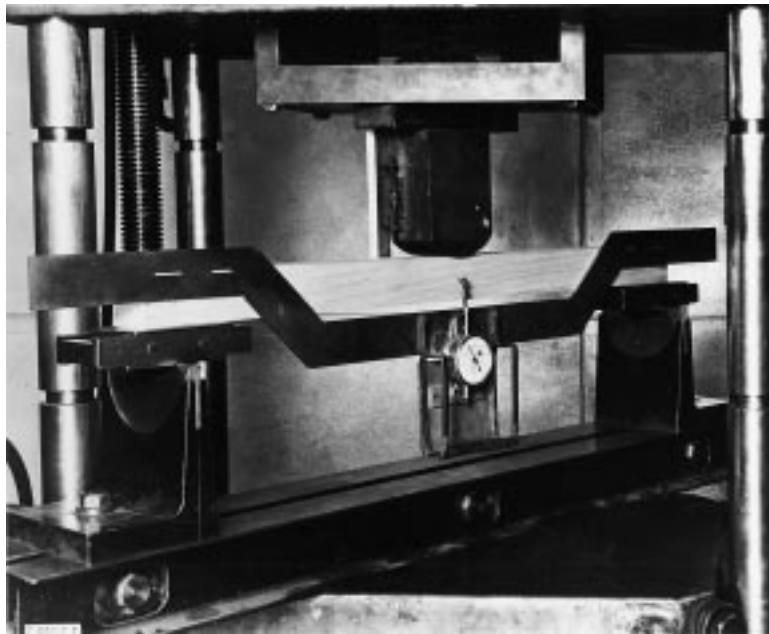


FIG. 3 Static Bending Test Assembly Showing Method of Load Application, Specimen Supported on Rollers and Laterally Adjustable Knife Edges, and Method of Measuring Deflection at Neutral Axis by Means of Yoke and Dial Attachment (Adjustable scale mounted on loading head is used to measure increments of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

primary method specimens. A block having a radius of $1\frac{1}{2}$ in. (38 mm) for a chord length of not less than 2 in. (50 mm) shall be used for secondary method specimens.

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

8.5 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable

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

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-

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.

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.

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.

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

8.8 Weight and Moisture Content—The specimen shall be

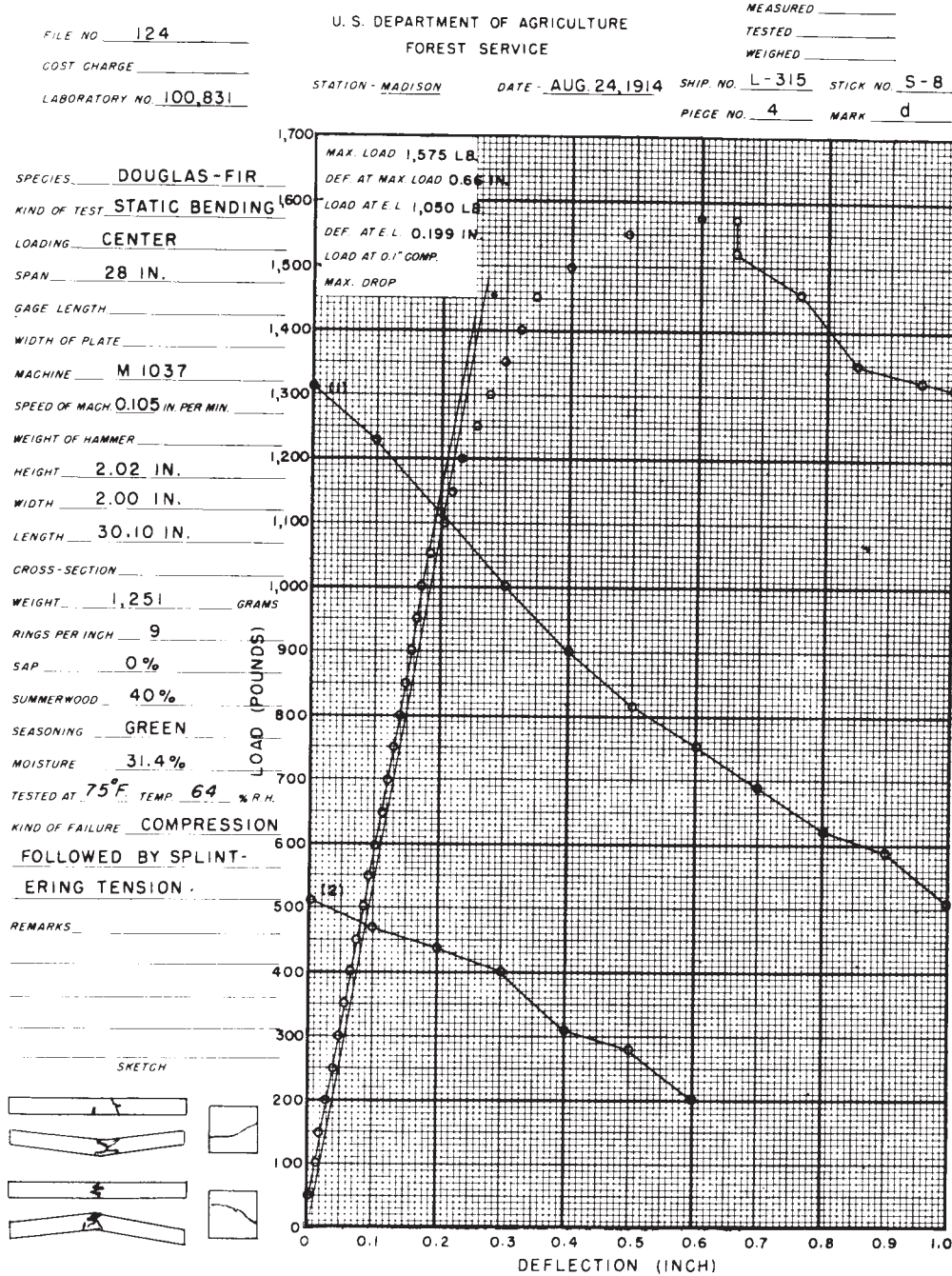
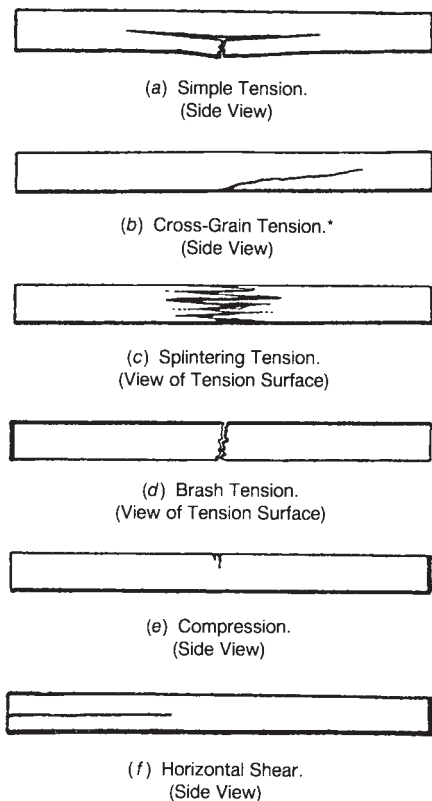


FIG. 5 Sample Data Sheet for Static Bending Test

8.7 Description of Static Bending Failures—Static bending (flexural) failures shall be classified in accordance with the appearance of the fractured surface and the manner in which

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



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

NOTE 2—The presence of cross grain 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.

FILE NO. 124
 COST CHARGE _____
 LABORATORY NO. 871,902

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 FOREST SERVICE

MEASURED _____
 TESTED _____
 WEIGHED _____

STATION - MADISON DATE - NOV. 5, 1943 SHIP NO. 1590 STICK NO. S-5
 PIECE NO. 5 MARK d

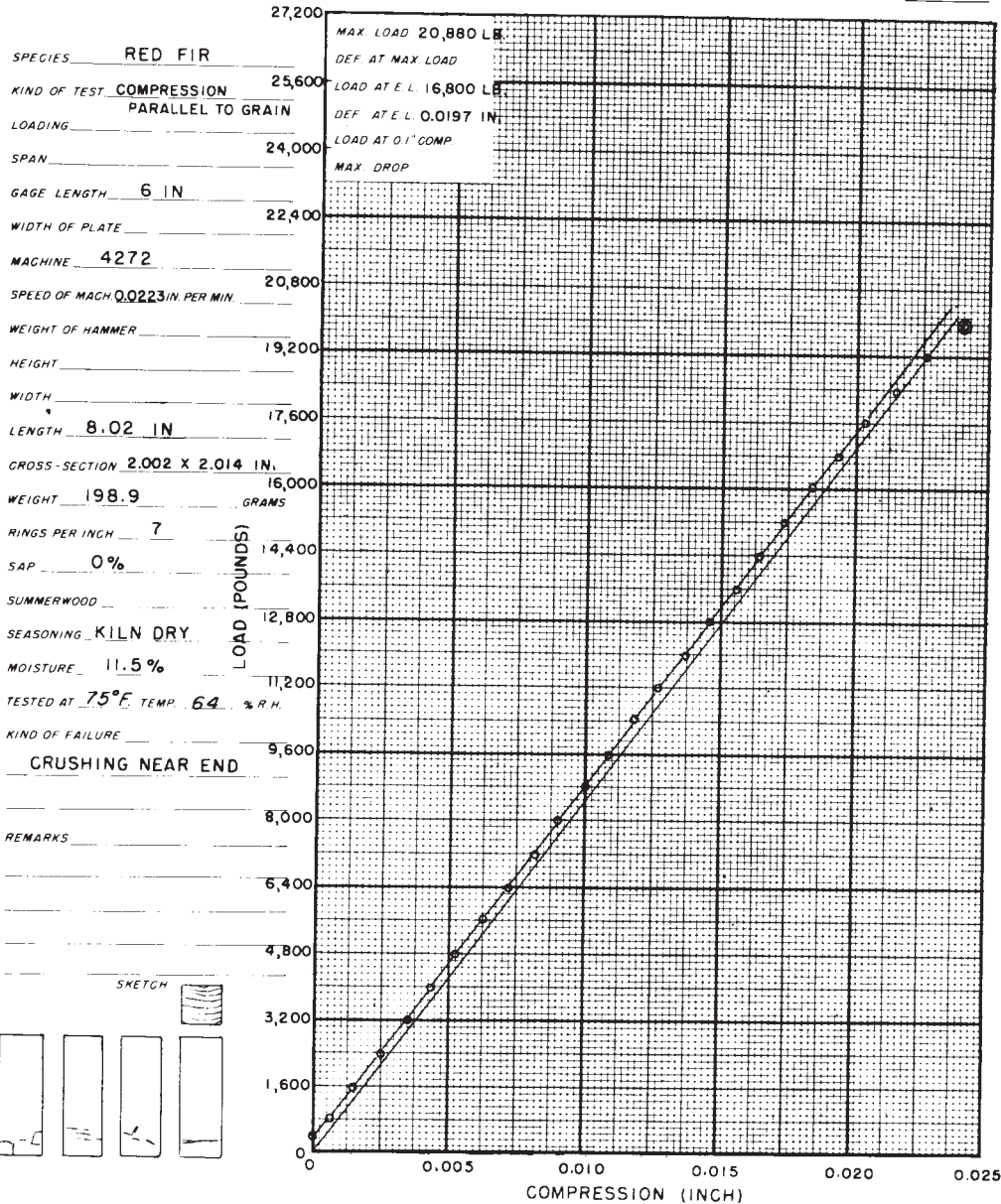


FIG. 7 Sample Data Sheet for Compression-Parallel-to-Grain Test

10.6 *Weight of Hammer*—A 50 lbf (22.5 kg) hammer shall be used when, with drops up to the capacity of the machine (about 68 in. (1.7 m) for the small Hatt-Turner impact machine), it is practically certain that complete failure or a 6 in. (150 mm) deflection will result for all specimens of a species. For all other cases, a 100 lbf (45 kg) hammer shall be used.

10.7 *Deflection Records*—When desired, graphical drum records (Note 5) giving the deflection for each drop and the set, if any, shall be made until the first failure occurs. This record will also afford data from which the exact height of drop can be scaled for at least the first four falls.

NOTE 5—See Fig. 12 for a sample drum record.

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

10.9 *Description of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 6) and described in accordance with the directions for static bending in 8.7.

NOTE 6—See Fig. 13 for a sample impact bending data sheet form. Fig. 14 shows a sample data and computation card.

10.10 *Weight and Moisture Content*—See 8.8.

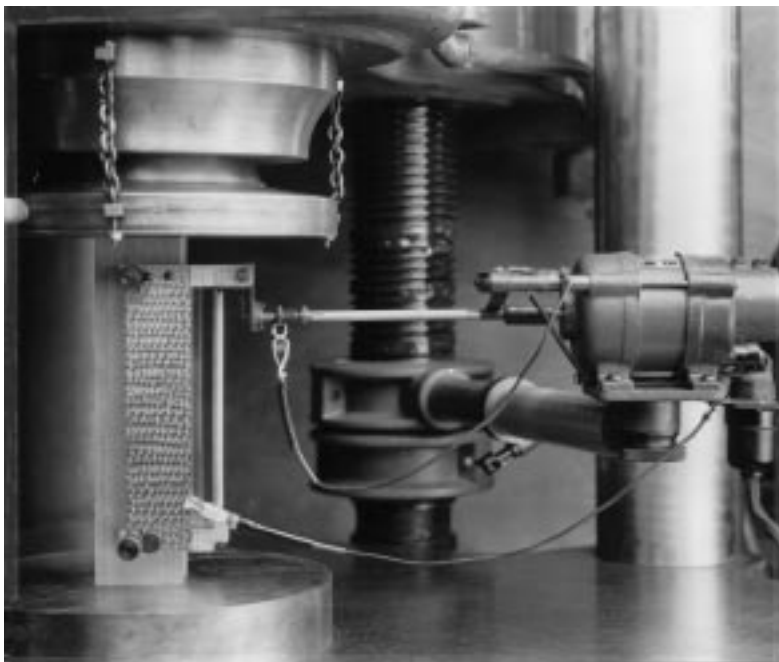


FIG. 8 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Using an Automatic Type of Compressometer to Measure Deformations (The wire in the lower right-hand corner connects the compressometer with the recording unit.)

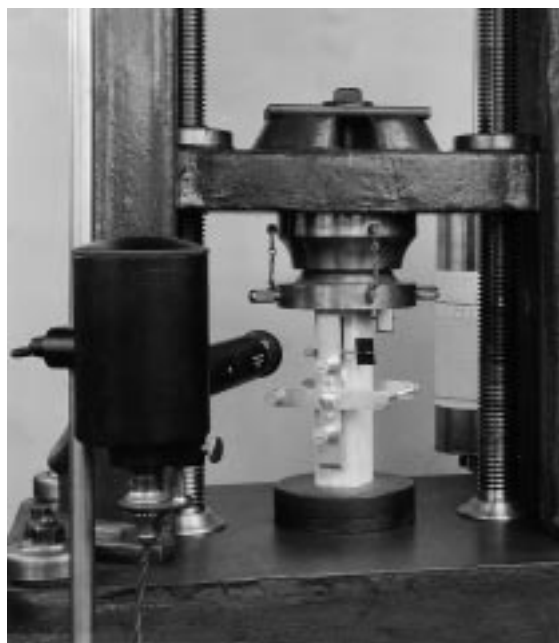


FIG. 9 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Method of Measuring Deformations by Means of Roller-Type Compressometer

11. Toughness

11.1 A single-blow impact test on a small specimen is recognized as a valuable and desirable test. Several types of machines such as the Toughness, Izod and 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:

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

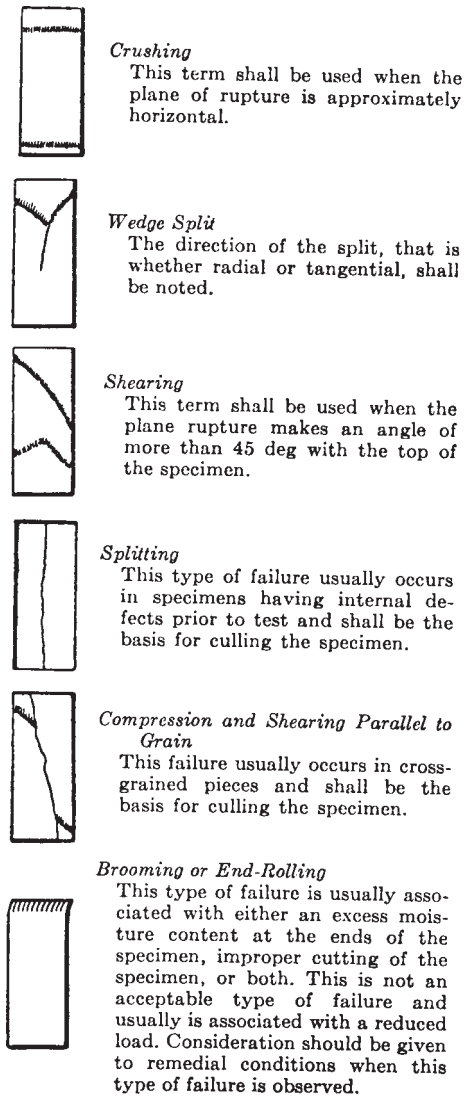


FIG. 10 Types of Failures in Compression

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).

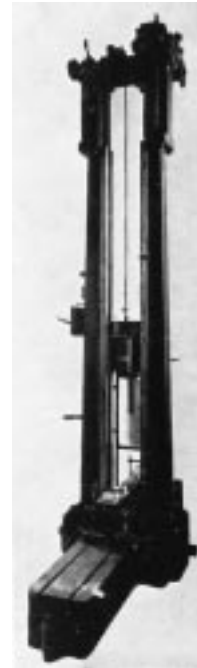


FIG. 11 Hatt-Turner Impact Machine, Illustrating Method of Conducting Impact Bending Test



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).

FILE NO. 124
 COST CHARGE _____
 LABORATORY NO. 101,151

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 FOREST SERVICE

STATION - MADISON DATE - AUG 26, 1914 SHIP NO. L-315 STICK NO. E-12
 PIECE NO. 1 MARK C

MEASURED _____
 TESTED _____
 WEIGHED _____

SPECIES DOUGLAS-FIR
 KIND OF TEST IMPACT BENDING
 LOADING CENTER
 SPAN 28 IN.
 GAGE LENGTH _____
 WIDTH OF PLATE _____
 MACHINE HATT-TURNER
 SPEED OF MACH IN PER MIN
 WEIGHT OF HAMMER 50 LB.
 HEIGHT 2.00 IN.
 WIDTH 2.00 IN.
 LENGTH 29.94 IN.
 CROSS-SECTION _____
 WEIGHT 1,370 GRAMS
 RINGS PER INCH 8
 SAP 100 %
 SUMMERWOOD 30 %
 SEASONING GREEN
 MOISTURE 61.4 %
 TESTED AT 75°F TEMP. 64 % R.H.
 KIND OF FAILURE COMPRESSION
FOLLOWED BY SPLINTERING
TENSION.
 REMARKS _____

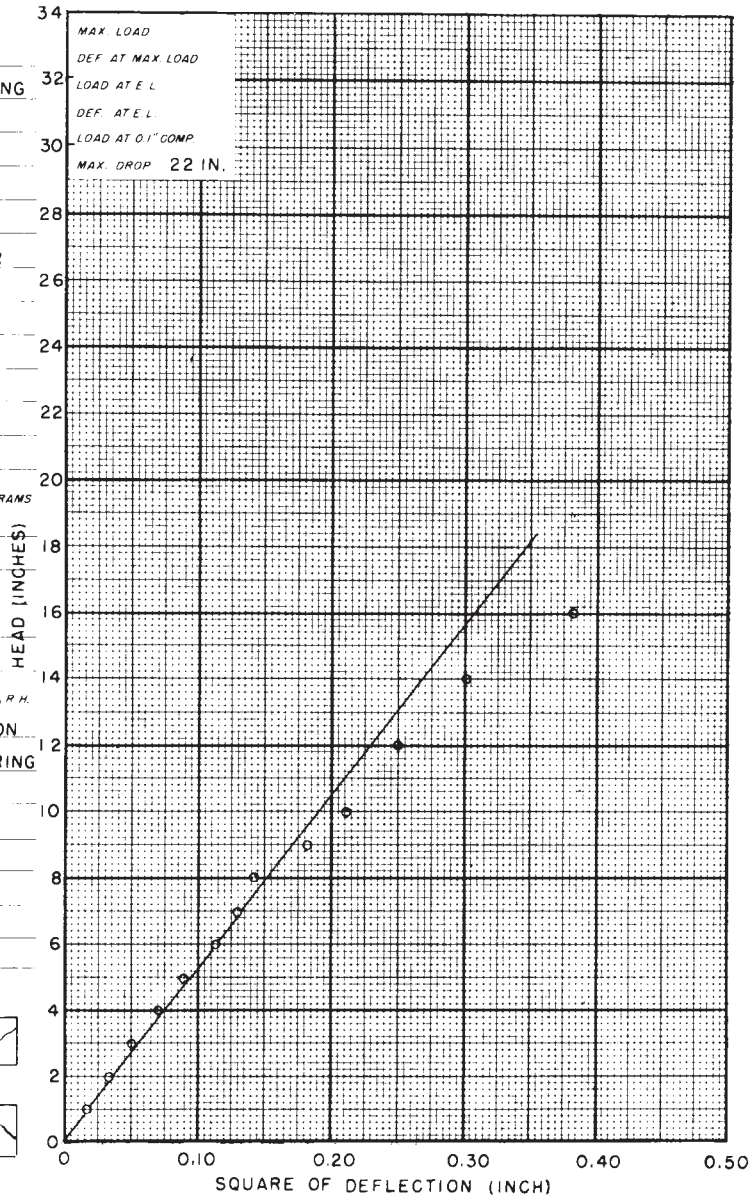
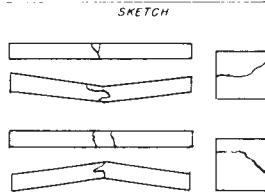


FIG. 13 Sample Data Sheet for Impact Bending Test

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).

IMPACT BENDING

L-315 *E-12* *101151*
 (Ship No.) (Stock No.) (Lab. No.)
1 *C* Station *MADISON* Date *Aug. 20, 1914* *124*
 (Piece No.) (Mark) (Project No.)

Species *Douglas Fir* Grade *Clear* Seasoning *Green*

Rings *8* Sap *100* % Summerwood *30* % Moisture *61.4* %

Hammer *50* lbs. Span *28 in.* Length *29.94 in.* Height *2.00 in.* Width *2.00 in.* Weight *1370 g.*

Drop No.	Head.	Def.	Dist ²	Set.	Drop No.	Head.	Def.	Dist ²	Set.	Sp. Gr. (at test)
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		F. S. at E. L., 10.610
4	4.0	0.26	0.068		14	18.0	0.67	0.593		M. of K., 1776
5	5.0	0.30	0.090		15					E. Resil., 3.51
6	6.0	0.34	0.116		16					Max. Drop, 22 in.
7	7.0	0.36	0.130		17					s, 0.010
8	8.0	0.38	0.144		18					H, 7.88
9	9.0	0.43	0.185		19					Δ, 0.39
10	10.0	0.46	0.212		20					

Failure: *Compression Followed by Splintering Tension.*

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

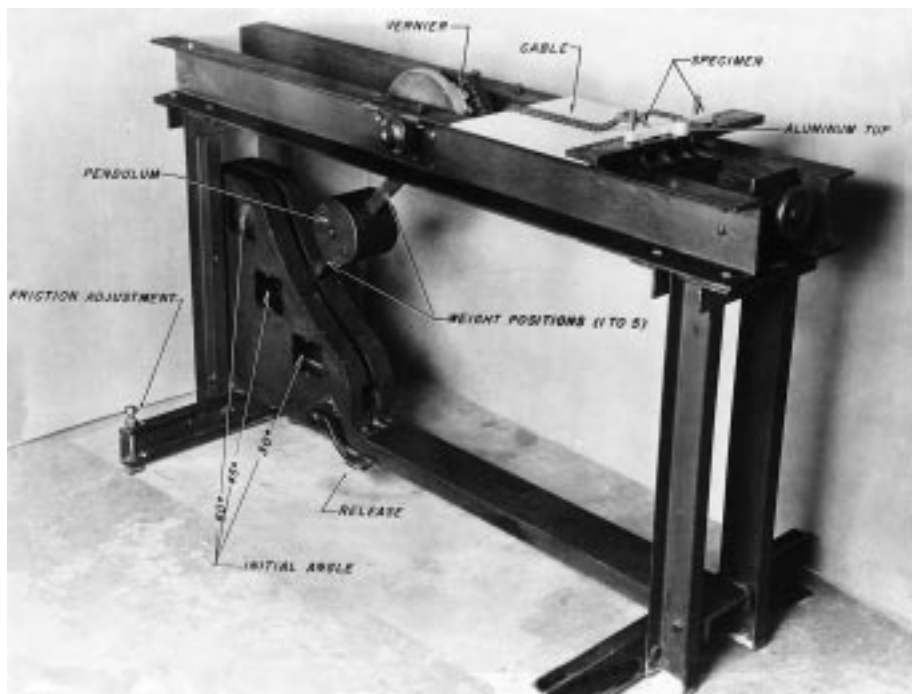


FIG. 15 Toughness Test Assembly

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).

TOUGHNESS

STATION - Madison
 SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO 1,651
 PROJECT Str. 1L SEASONING GREEN MEASURED BY _____
 COST CHARGE 01-3-005 SPAN 9.47 IN. WEIGHED BY _____
 LABORATORY NOS. 268,779A-806A MACHINE NO. 4,715 TESTED BY _____
 DATE FEB. 1, 1950 TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 64 %

STICK NO.	LAB NO.	DIMENSIONS L" x H" x W"	WEIGHT GM	MOIST. %	SP. GR.	POSITION OF RINGS *		INITIAL ANGLE °	FINAL ANGLE		TOUGHNESS INCH-POUNDS	REMARKS
						RAD.	TANG.		°	'		
									3	45		
22E-3-d-1	785A	11.02 X .794 X .797	53.80	32.0	.357	✓			32	30	143.8	
	2 786A	11.02 X .789 X .790	52.54	31.8	.354	✓			31	56	149.7	
22E-5-C-1	787A	11.02 X .792 X .798	53.56	35.7	.347	✓			33	10	136.8	
	2 788A	11.02 X .794 X .798	53.00	39.6	.333	✓			34	4	127.6	

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

FIG. 16 Sample Data and Computation Sheet for Toughness Test

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

14. Shear Parallel to Grain

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

14.2 *Size of Specimens*—The shear-parallel-to-grain tests shall be made on a 2 by 2 by 2-1/2 in. (50 by 50 by 63 mm) specimens notched in accordance with Fig. 21 to produce failure on a 2 by 2 in. (50 by 50 mm) surface. The actual dimensions of the shearing surface shall be measured (see 22.2).

14.3 *Procedure*—Use a shear tool similar to that illustrated in Fig. 22, providing a 1/8 in. (3 mm) offset between the inner edge of the supporting surface and the plane of the adjacent edge of the loading surface. Apply the load to and support the

specimen on end-grain surfaces. Take care in placing the specimen in the shear tool to see that the crossbar is adjusted, so that the edges of the specimen are vertical and the end rests evenly on the support over the contact area. Observe the maximum load only.

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

14.5 *Test Failures*—The failure shall be sketched on the datasheet (Note 12). In all cases where the failure at the base of the specimen extends back onto the supporting surface, the test shall be culled.

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

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

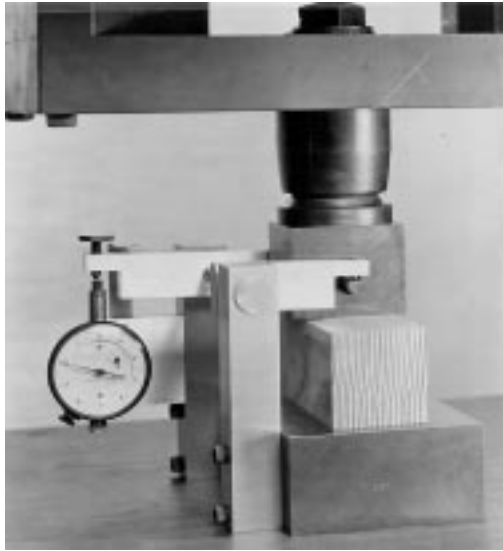


FIG. 17 Compression-Perpendicular-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application and Measurement of Deformation by Means of Averaging-Type Compressometer

15. Cleavage

15.1 *Size of Specimens*—The cleavage tests shall be made on specimens of the form and size in accordance with Fig. 24. The actual width and length at minimum section shall be measured (see 22.2).

15.2 *Procedure*—The specimens shall be held during test in grips as shown in Figs. 25 and 26. Observe the maximum load only.

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

15.4 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 13).

NOTE 13—See Fig. 27 for a sample data and computation sheet for the cleavage test.

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

16. Tension Parallel to Grain

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

16.2 *Size of Specimens*—The tension-parallel-to-grain tests shall be made on specimens of the size and shape in accordance with Fig. 28. The specimen shall be so oriented that the direction of the annual rings at the critical section on the ends of the specimens, shall be perpendicular to the greater cross-sectional dimension. The actual cross-sectional dimensions at minimum section shall be measured (see 22.2).

16.3 *Procedure:*

16.3.1 Fasten the specimen in special grips (Fig. 29). Deformation shall be measured over a 2 in. (50 mm) central gage length on all specimens. Take load-extension readings until the proportional limit is passed.

16.3.2 Read deformations to 0.0001 in. (0.002 mm).

16.3.3 Fig. 29 illustrates gripping devices and a type of extensometer that have been found satisfactory.

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

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

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

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

17. Tension Perpendicular to Grain

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

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

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

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

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

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

18. Nail Withdrawal

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

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

18.2 *Preparation of Specimens*—Nails shall be driven at right angles to the face of the specimen to a total penetration of 1¼ in. (32 mm). Two nails shall be driven on a tangential surface, two on a radial surface, and one on each end. The choice between the two radial and two tangential surfaces shall be such as to give a fair average of the piece. On radial and tangential faces, the nails shall be driven a sufficient distance from the edges and ends of the specimen to avoid splitting. In general, nails should not be driven closer than ¾ in. (19 mm) from the edge or 1½ in. (38 mm) from the end of a piece. The two nails on a radial or tangential face should not be driven in line with each other or less than 2 in. (50 mm) apart.

18.3 *Procedure*—Withdraw all six nails in a single specimen immediately after driving. Fasten the specimens during the test in grips as shown in Figs. 35 and 36. Observe the maximum load only (Note 16).

FILE NO. 124
 COST CHARGE _____
 LABORATORY NO. 871,620

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 FOREST SERVICE

STATION - MADISON DATE - OCT. 25, 1943 SHIP NO. 1590 STICK NO. N-6
 PIECE NO. 4 MARK C

MEASURED _____
 TESTED _____
 WEIGHED _____

SPECIES RED FIR
 KIND OF TEST COMPRESSION
 LOADING PERPENDICULAR TO GRAIN
 SPAN _____
 GAGE LENGTH _____
 WIDTH OF PLATE 2 IN.
 MACHINE 4270
 SPEED OF MACH. 0.0121 IN. PER MIN.
 WEIGHT OF HAMMER _____
 HEIGHT 2.015 IN.
 WIDTH 2.012 IN.
 LENGTH 6.07 IN.
 GROSS-SECTION _____
 WEIGHT 175.3 GRAMS
 RINGS PER INCH 25
 SAP _____
 SUMMERWOOD _____
 SEASONING KILN DRY
 MOISTURE 10.8 %
 TESTED AT 75° F. TEMP. 64 % R.H.
 KIND OF FAILURE _____
 REMARKS _____
 SKETCH _____

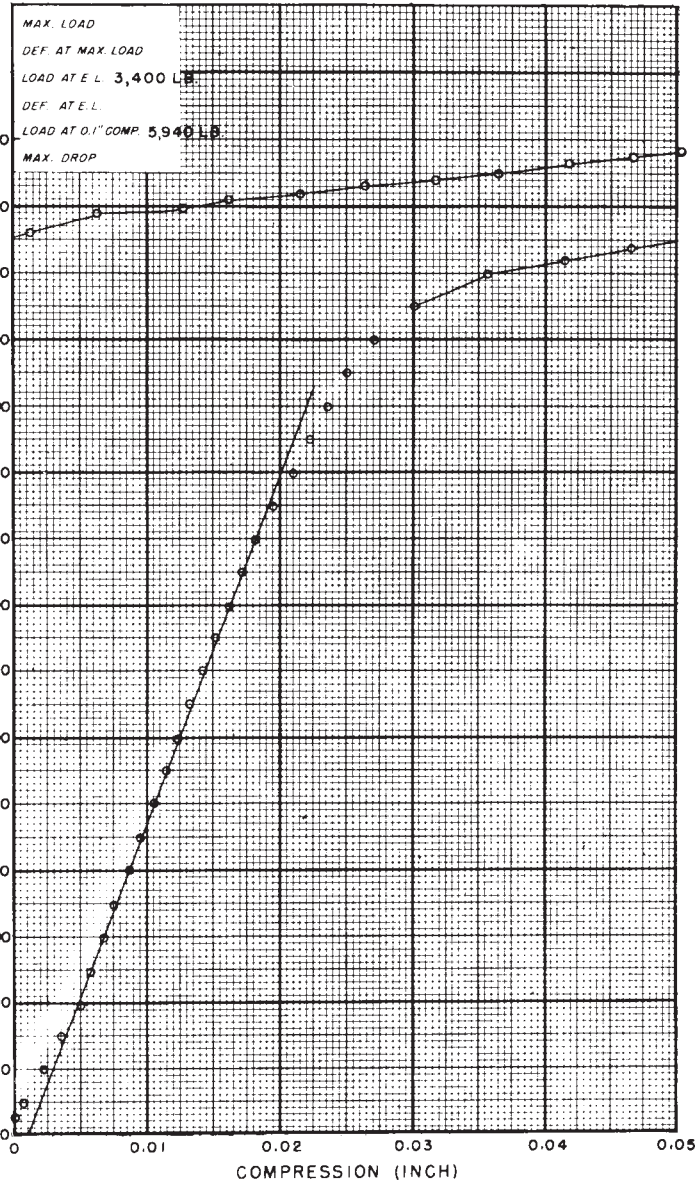


FIG. 18 Sample Data Sheet for Compression-Perpendicular-to-Grain Test

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.

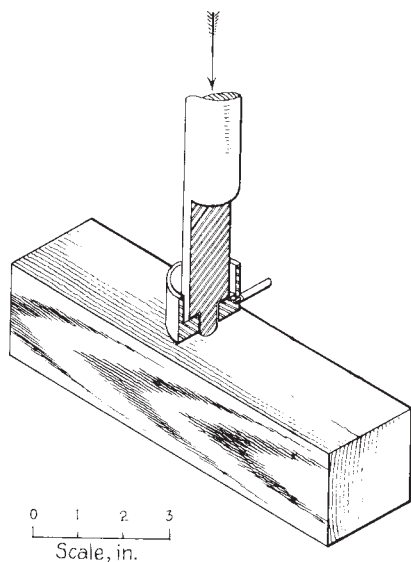


FIG. 19 Diagrammatic Sketch of Method of Conducting Hardness Test

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

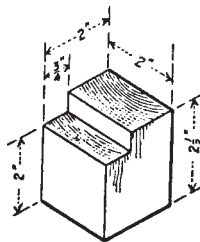
24.1 Statements of precision and bias for the tests have not yet been developed.

HARDNESS

STATION - *Madison*
 SPECIES *PACIFIC SILVER FIR* SHIPMENT NO. *1,651*
 PROJECT *Str. 1L* SEASONING *GREEN* MEASURED BY _____
 COST CHARGE *01-3-005* MACHINE SPEED *0.244* WEIGHED BY _____
 LABORATORY NOS. *268,281A-290A* MACHINE NO. *4,271* TESTED BY _____
 DATE *JAN. 31, 1951* TEMP. *75* °F REL. HUMIDITY *64* %

STICK NO.	DIMENSIONS L" X H" X W"	WEIGHT GM.	MOIST. %	SP. GR.	HARDNESS			REMARKS	SKETCH	
					RADIAL SURFACE LB.	TANGENTIAL SURFACE LB.	END SURFACE LB.			
<i>23-N-7-d</i>	<i>6.02 X 1.996 X 1.994</i>	<i>241.3</i>	<i>47.5</i>	<i>.416</i>	<i>530</i>	<i>470</i>	<i>465</i>			
					<i>500</i>	<i>515</i>	<i>530</i>			
					AVERAGE	<i>515</i>	<i>492</i>			<i>498</i>
					AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL	<i>504</i>				
					AVERAGE					
					AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL					
<i>23-E-8-C</i>	<i>6.04 X 1.992 X 1.992</i>	<i>273.3</i>	<i>71.1</i>	<i>.406</i>	<i>370</i>	<i>455</i>	<i>510</i>			
					<i>415</i>	<i>435</i>	<i>555</i>			
					AVERAGE	<i>392</i>	<i>445</i>			<i>532</i>
					AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL	<i>418</i>				
					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	$2\frac{1}{2}$
mm	20	50	63

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

25. Keywords

25.1 clear specimens; small clear specimens; timber; wood



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

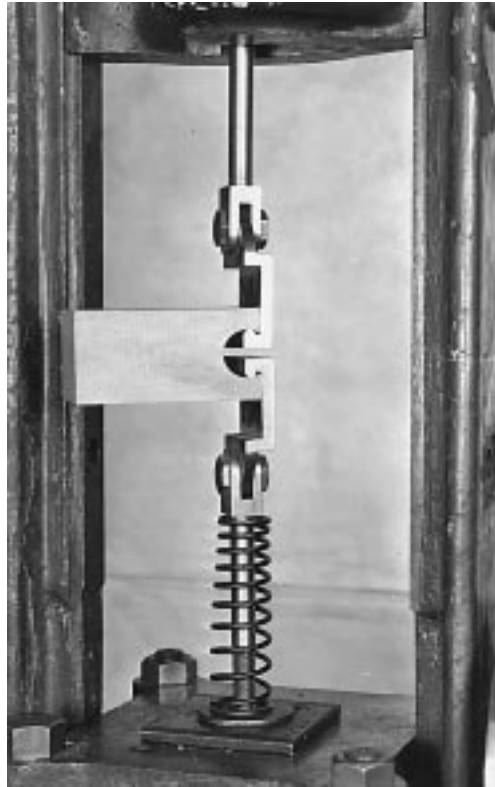
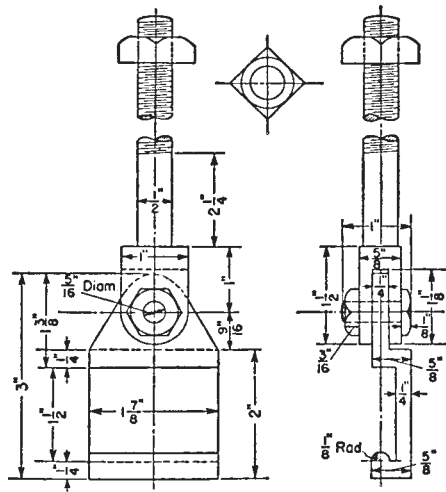


FIG. 25 Cleavage Test Assembly

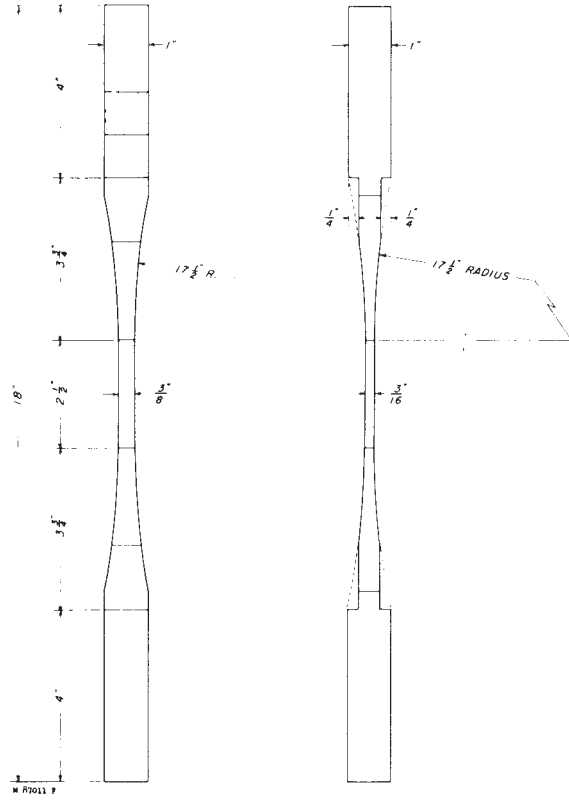


NOTE 1—Two pieces included in one set:
 One piece with shank 8 in. long.
 One piece with shank 5½ in. long.

Metric Equivalents

in.	mm	in.	mm
1/8	3	1 3/8	35
3/16	4.8	1 1/2	38
1/4	6	1 7/8	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



		Metric Equivalents							
in.	3/16	1/4	3/8	1	2 1/2	3 3/4	4	17 1/2	18
mm	4.8	6.3	9.5	25	63	95	100	444	460

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



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

FILE NO. Str. - 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
 MEASURED _____
 TESTED _____
 WEIGHED _____
 PIECE NO. 22 MARK C

SPECIES PACIFIC SILVER FIR
 KIND OF TEST TENSION PARALLEL TO GRAIN
 LOADING _____
 SPAN 2 IN.
 GAGE 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 _____

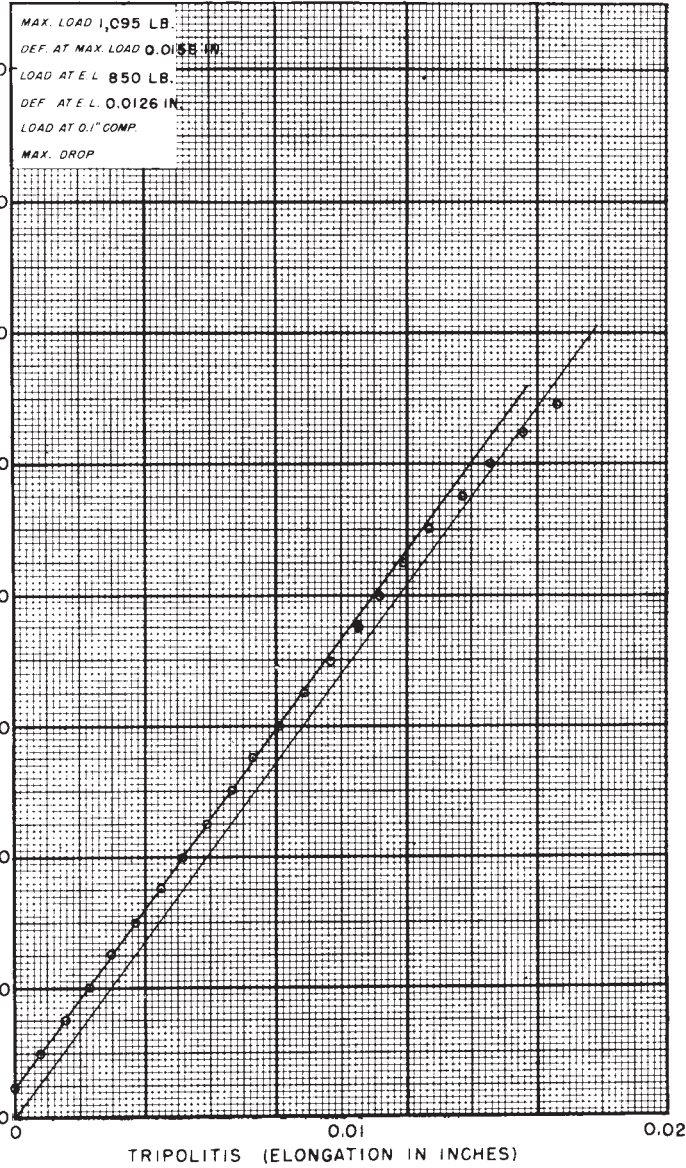
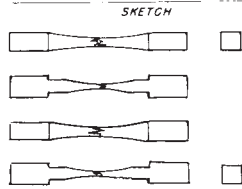
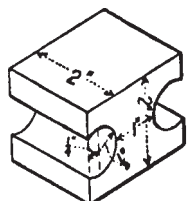


FIG. 30 Sample Data Sheet for Tension-Parallel-to-Grain Test



Metric Equivalents

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

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