



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

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

TEMA:

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

AUTORA: Daysi Eliana Aldás Ramos

TUTORA: Ing. Myrian Marisol Bayas Altamirano Mg.

AMBATO - ECUADOR

Marzo - 2023

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema : “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA Y FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA DE LA MADERA DE CAPULÍ, PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015) “, elaborado por la Srta. Daysi Eliana Aldas Ramos, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 185001573-4, 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, marzo 2023

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized loop at the top and a horizontal line with a small flourish at the bottom. The name 'Myrian Bayas' is written in a cursive script below the horizontal line.

Ing. Myrian Marisol Bayas Altamirano Mg.

TUTORA

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Daysi Eliana Aldás Ramos**, con C.I. 185001573-4, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA Y FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA DE LA MADERA DE CAPULÍ, PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015) “**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



Daysi Eliana Aldás Ramos

C.I. 185001573-4

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, marzo 2023



Daysi Eliana Aldás Ramos

C.I. 185001573-4


AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Daysi Eliana Aldás Ramos, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA Y FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA DE LA MADERA DE CAPULÍ, PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015)“**.

Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:


.....
Ing. Alex Gustavo López Arboleda Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR


.....
Ing. Galo Wilfrido Núñez Aldás Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

“No es grande el que siempre triunfa, sino el que jamás se desalienta”

José Luis Martín Descalzo

Le dedico el resultado de este trabajo a Dios que me dio la sabiduría necesaria para poder vencer todo obstáculo, que se presentó en el camino, me dio entendimiento y fortaleza para lograr culminar con éxito todo lo que me propuse en el trayecto de mi vida, me brindo el don del conocimiento el cual me permitió finalizar mi carrera universitaria.

A mi mamá Daysi quien ha sido un pilar fundamental en mi vida, quien me enseñó a nunca darme por vencida y seguir luchando, quien creció conmigo y me acompañó durante este largo camino donde su voz de aliento nunca cesó. Me ha enseñado a ser la persona que hoy en día soy, con valores y principios, quien, a pesar de las adversidades de la vida, me supo sacar adelante sin esperar nada a cambio.

A mi hermano Oswaldo, quien es la luz de mi vida, que con sus ocurrencias me alegra los días, gracias, hermano por permitirme crecer a tu lado.

También quiero dedicarles este trabajo a mis abuelitos Cumita y Oswaldo, quienes me ayudaron en el transcurso de mi carrera universitaria, a mi tía María y mi primo Joel, quienes me acompañaron en todo momento.

Finalmente, a ti José, que sostuviste mi mano en todo momento, que me enseñaste a soñar en grande y nunca rendirme, que me acompañaste y guiaste en este transcurso, gracias por ser el protagonista de esta meta alcanzada, gracias por brindarme tu amor incondicional y tu conocimiento.

Daysi Eliana Aldás Ramos

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios que me dio la salud y sabiduría para culminar el presente proyecto experimental.

Además, agradezco a mi tutora la Ing. Marisol Bayas, quien con su don de persona supo guiarme y apoyarme para la realización de este proyecto, por demostrarme que un mejor maestro no es aquel que enseña algo, sino el que inspira a sus alumnos a dar su mejor potencial para así ser grandes profesionales.

Resaltando también a la Universidad Técnica de Ambato, que me facilito la ejecución de los ensayos físicos y mecánicos que se presentan en el trabajo estipulado.

Daysi Eliana Aldás Ramos

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN	xxi
ABSTRACT.....	xxii
CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1.Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1.Antecedentes	1
1.1.2.Justificación.....	2
1.2.Objetivos	4
1.2.1.Objetivo General	4
1.2.2.Objetivos Específicos.....	4
1.3.Marco Teórico.....	5
1.3.1.Historia de la madera	5
1.3.2.La madera.....	5
1.3.2.1.Partes de la madera	6
1.3.2.2.Composición de la madera	7
1.3.2.3.Propiedades físicas de la madera.....	8
1.3.2.4.Propiedades térmicas de la madera	12

1.3.2.5.Propiedades acústicas de la madera	12
1.3.2.6.Propiedades eléctricas de la madera.....	12
1.3.2.7.Propiedades mecánicas de la madera	12
1.3.2.8.Propiedades elásticas de la madera	17
1.3.2.9.Tipos de madera	19
1.3.3.Recurso forestal nacional	19
1.3.4.Plantaciones forestales en el Ecuador	19
1.3.5.Calendario agrícola	21
1.3.6.Proceso de producción de madera.....	22
1.3.7.Construcciones de madera.....	24
1.3.8.Madera estructural.....	25
1.3.8.1.Sistemas estructurales de madera.....	25
1.3.8.2.Clasificación estructural de las maderas	27
1.3.8.3.Condiciones para madera estructural	28
1.3.8.4.Clasificación visual por defectos para madera estructural.....	28
1.3.8.5.Influencia del secado en elementos de madera	32
1.3.9.El capulí	34
1.3.9.1.Clasificación taxonómica.....	34
1.3.9.2.Descripción botánica.....	35
1.3.9.3.Aspectos fisiológicos	35
1.3.9.4.Usos del capulí	36
1.3.9.5.Madera de capulí.....	36
1.3.9.6.Densidad básica.....	37
1.3.9.7.Distribución en el Ecuador.....	37
1.3.9.8.Cultivo.....	37
1.3.9.9.Siembra y cosecha.....	38
1.3.9.10.Condiciones climáticas de desarrollo.....	38

1.3.10.Ensayos	39
1.3.10.1.Ensayo de resistencia a la flexión de la madera	39
1.3.10.2.Ensayo de resistencia a la tracción de la madera	41
1.3.11.Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015: Capítulo 8.....	43
1.4.Hipótesis.....	44
2.CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA	45
2.1.ENFOQUE	45
2.2.MÉTODOS (modalidad de investigación).....	45
2.2.1.De campo	45
2.2.2.Bibliográfico Documental.....	45
2.2.3.Experimental	45
2.3.NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	45
2.3.1.Investigación Exploratoria	45
2.3.2.Investigación Experimental.....	46
2.3.3.Investigación de Laboratorio	46
2.3.4.Investigación Aplicada.....	46
2.4.Población y Muestra.....	46
2.4.1.Población.....	46
2.4.2.Muestra.....	51
2.5.Materiales y equipos	52
2.5.1.Materiales	52
2.5.2.Equipos.....	53
2.6.Métodos.....	54
2.6.1.Plan de Recolección de Información.....	54
2.7.Proceso	56
2.7.1.Elaboración de probetas	56
2.7.1.1.Dimensiones de probetas para el ensayo de resistencia a flexión.....	56

2.7.1.2.Procedimiento de fabricación de probetas	57
2.7.1.3. Caracterización de probetas para el ensayo de resistencia a flexión para cada cantón.....	59
2.7.1.4.Dimensiones de probetas para el ensayo de resistencia a tracción	60
2.7.1.5.Procedimiento de fabricación de probetas	61
2.7.1.6.Caracterización de probetas para el ensayo de resistencia a tracción para cada cantón.....	63
2.7.2.Ensayos	64
2.7.2.1.Ensayo Físico	64
2.7.2.1.1.Contenido de humedad.....	64
2.7.2.2.Ensayo Mecánico	66
2.7.2.2.1.Ensayo a flexión perpendicular a la fibra de la madera	66
2.7.2.2.2.Ensayo a tracción paralela a la fibra de la madera	69
2.7.3.Cálculo de las propiedades mecánicas	71
2.7.3.1.Flexión perpendicular a la fibra de la madera.....	71
2.7.3.2.Tracción paralela a la fibra de la madera	75
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	79
3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	79
1.1.1.Propiedades Físicas	79
1.1.1.1.Contenido de humedad verde.....	79
1.1.1.2.Contenido de humedad seca.....	86
1.1.2.Propiedades mecánicas.....	91
1.1.2.1.Flexión perpendicular a la fibra	91
1.1.2.2.Tracción paralela a la fibra.....	114
1.1.2.3.Evaluación comparativa	131
1.2.Verificación de Hipótesis.....	141
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	142

1.3.Conclusiones	142
1.4.Recomendaciones.....	144
BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA	145
ANEXOS... ..	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tonalidad de la madera	8
Tabla 2. Especies maderables exportadas	20
Tabla 3. Productos en las exportaciones del sector forestal.....	21
Tabla 4. Calendario lunar 2022.....	22
Tabla 5. Especies Estudiadas en el Ecuador para Madera Estructural.....	27
Tabla 6. Defectos relativos a la constitución anatómica	29
Tabla 7. Defectos relativos al ataque de agentes biológicos.....	29
Tabla 8. Defectos producidos durante el apeo, transporte y almacenamiento	30
Tabla 9. Defectos originados durante el secado.....	30
Tabla 10. Defectos originados durante el aserrío.....	31
Tabla 11. Ventajas del empleo de madera seca.....	32
Tabla 12. Clasificación Taxonómica del Capulí	35
Tabla 13. Usos del capulí	36
Tabla 14. Especificaciones del Ensayo de resistencia a flexión de la Madera.	40
Tabla 15. Velocidad de mordazas para el ensayo a tracción de la madera.	42
Tabla 16. Esfuerzos admisibles para la madera (Mpa)	43
Tabla 17. Módulo de elasticidad para la madera (MPa)	44
Tabla 18. Datos de georreferenciación de los depósitos de madera	47
Tabla 19. Usos de la madera de capulí.....	49
Tabla 20. Precios de las piezas de madera de capulí.	50
Tabla 21. Número de probetas a flexión perpendicular a la fibra.....	51
Tabla 22. Número de probetas a tracción paralela a la fibra.....	51
Tabla 23. Equipos.....	53
Tabla 24. Plan de Recolección de Datos.....	54
Tabla 25. Caracterización de probetas a flexión	59
Tabla 26. Caracterización de probetas a tracción.....	63
Tabla 27. Factores de reducción	73
Tabla 28. Factores de reducción	77
Tabla 29. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Ambato	79
Tabla 30. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Cevallos	80
Tabla 31. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Mocha..	80

Tabla 32. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Pelileo..	80
Tabla 33. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro	81
Tabla 34. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Quero ...	81
Tabla 35. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Tisaleo .	81
Tabla 36. Contenido de humedad verde.....	83
Tabla 37. Densidad básica de la madera de capulí.....	84
Tabla 38. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Ambato ..	86
Tabla 39. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Cevallos.	86
Tabla 40. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Mocha....	87
Tabla 41. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Pelileo....	87
Tabla 42. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro	87
Tabla 43. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Quero.....	88
Tabla 44. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Tisaleo ...	88
Tabla 45. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Ambato.....	91
Tabla 46. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima de la madera de capulí del cantón Ambato	91
Tabla 47. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Ambato	92
Tabla 48. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Cevallos.....	94
Tabla 49. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima de la madera de capulí del cantón Cevallos	94
Tabla 50. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Cevallos.....	94
Tabla 51. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Mocha	97
Tabla 52. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima de la madera de capulí del cantón Mocha.....	97
Tabla 53. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Mocha.....	97
Tabla 54. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Pelileo	100
Tabla 55. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima de la madera de capulí del cantón Pelileo.....	100

Tabla 56. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Pelileo.....	100
Tabla 57. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro	103
Tabla 58. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima de la madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro	103
Tabla 59. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro	103
Tabla 60. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Quero.....	105
Tabla 61. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima de la madera de capulí del cantón Quero	105
Tabla 62. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Quero.....	106
Tabla 63. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Tisaleo.....	108
Tabla 64. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima del cantón Tisaleo	108
Tabla 65. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible del cantón Tisaleo.....	108
Tabla 66. Módulo de elasticidad y Contenido de humedad	111
Tabla 67. Fallas generadas en las probetas de flexión estática	112
Tabla 68. Ilustraciones de las fallas producidas en las probetas sometidas a flexión estática.....	113
Tabla 69. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Ambato	114
Tabla 70. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Ambato.....	114
Tabla 71. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Cevallos	116
Tabla 72. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Cevallos.....	116
Tabla 73. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Mocha	118
Tabla 74. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera del cantón Mocha	118

Tabla 75. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Pelileo	120
Tabla 76. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Pelileo.....	120
Tabla 77. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro.....	122
Tabla 78. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de cantón Santiago de Píllaro	122
Tabla 79. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Quero	124
Tabla 80. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Quero.....	124
Tabla 81. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Tisaleo	126
Tabla 82. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Tisaleo	126
Tabla 83. Módulo de elasticidad y contenido de humedad.....	128
Tabla 84. Fallas generadas en las probetas de tracción paralela	129
Tabla 85. Ilustraciones de las fallas producidas en las probetas sometidas a tracción paralela	130
Tabla 86. Módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de la madera de capulí sometida a flexión estática.	131
Tabla 87. Contenido de humedad, módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de especies maderables sometidas a flexión estática	133
Tabla 88. Módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de la madera de capulí sometida a tracción paralela a la fibra.....	136
Tabla 89. Contenido de humedad, módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de especies maderables sometidas a tracción perpendicular a la fibra	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de la Madera.....	6
Figura 2 . Composición Química Elemental	7
Figura 3.Composicion Química de La Madera	8
Figura 4. Eje Radial, Longitudinal y Tangencial de la Madera	13
Figura 5. Esquema de ensayo a compresión paralela a las fibras de la madera.....	14
Figura 6. Esquema de ensayo a compresión perpendicular a las fibras	14
Figura 7. Durmientes de madera del ferrocarril	15
Figura 8. Esquema de la capacidad de resistencia a tracción paralelo y perpendicular a las fibras.	15
Figura 9. Esquema de ensayo a tracción paralela a las fibras.	16
Figura 10. Esquema de ensayo de cizallamiento longitudinal.	16
Figura 11. Esquema de la resistencia a flexión.	17
Figura 12. Gráfico de carga – deformación para la madera.....	18
Figura 13. Plantaciones forestales en el Ecuador.....	20
Figura 14. Esquema del proceso de obtención de la madera.	23
Figura 15. Casa Retoño	24
Figura 16. Casa de Campo Quinta San Luis	25
Figura 17. Sistema Entramado	26
Figura 18. Sistema Poste y Viga	26
Figura 19. Sistema de Armaduras	27
Figura 20. Secado natural de madera.	33
Figura 21. Cámara de secado.	33
Figura 23. Árbol de Capulí	34
Figura 24. Cultivo de capulí ubicado en la Parroquia Santa Rosa.	38
Figura 25. Ensayo de resistencia a la flexión de la madera	39
Figura 26. Tipos de falla en flexión estática	40
Figura 27. Ensayo a tensión paralela.....	41
Figura 28. Dimensiones de la probeta para cargas a tracción.	41
Figura 29. Fallas de Tracción.....	42

Figura 30. Depósito de madera y mueblería El “Riksilla”	47
Figura 31. Puntos de obtención de la madera de capulí.....	48
Figura 32. Probetas a flexión	52
Figura 33. Probetas a tracción.....	52
Figura 34. Dimensiones de la probeta para el ensayo de resistencia a flexión	57
Figura 35. Proceso de fabricación de probetas a flexión	57
Figura 36. Canteado de tablonces de madera de capulí.....	58
Figura 37. Corte de probetas	58
Figura 38. Probeta para el ensayo de resistencia a tracción.....	60
Figura 39. Dimensiones en pulgadas (in) de la probeta para el ensayo de resistencia a tracción.....	61
Figura 40. Elaboración de moldes.....	61
Figura 41. Elaboración de ranuras	62
Figura 42 . Pulido de probeta	62
Figura 43. Verificación de medidas	67
Figura 44. Selección del método de ensayo	67
Figura 45. Aplicación del bloque de carga.....	68
Figura 46. Aplicación de carga	68
Figura 47. Falla generada en la probeta	69
Figura 48. Peso de probetas	69
Figura 49. Colocación de probetas.....	70
Figura 50. Falla a tracción.....	70
Figura 51. Contenido de humedad verde de la madera de capulí	82
Figura 52. Mapa de zonificación de humedad verde de los cantones Mocha y Cevallos	85
Figura 53. Contenido de humedad en estado seco de la madera de capulí a nivel cantonal	89
Figura 54. Mapa de zonificación del contenido de humedad seco de la madera de capulí a nivel cantonal	90
Figura 55. Grafica carga vs deflexión de la probeta FA2, de madera de capulí del cantón Ambato	92

Figura 56. Grafica carga vs deflexión de la probeta FA5, de madera de capulí del cantón Ambato	93
Figura 57. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FC5, de madera de capulí del cantón Cevallos.....	95
Figura 58. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FC4, de madera de capulí del cantón Cevallos	96
Figura 59. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FM2, de madera de capulí del cantón Mocha	98
Figura 60. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FM3, de madera de capulí del cantón Mocha	99
Figura 61. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FP3, de madera de capulí del cantón Pelileo.....	101
Figura 62. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FP4, de madera de capulí del cantón Pelileo.....	102
Figura 63. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FS1, de madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro	104
Figura 64. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FS2, de madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro	104
Figura 65. Grafica carga vs deflexión de la probeta FQ3, de madera de capulí del cantón Quero	106
Figura 66. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FQ1, de madera de capulí del cantón Quero	107
Figura 67. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FT1, de madera de capulí del cantón Tisaleo	109
Figura 68. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FT6, de madera de capulí del cantón Tisaleo	110
Figura 69. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TA3, de madera de capulí del cantón Ambato.....	115
Figura 70. Gráfica esfuerzo vs deformación de la probeta TA6, de madera de capulí del cantón Ambato	115
Figura 71. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TC1, de madera de capulí del cantón Cevallos	117

Figura 72. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TC5, de madera de capulí del cantón Cevallos	117
Figura 73. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TM1, de madera de capulí del cantón Mocha	119
Figura 74. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TM3, de madera de capulí del cantón Mocha	119
Figura 75. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TM1, de madera de capulí del cantón Pelileo	121
Figura 76. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TP2, de madera de capulí del cantón Pelileo	121
Figura 77. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TS4, de madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro	123
Figura 78. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TS3, de madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro	123
Figura 79. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TQ3, de madera de capulí del cantón Quero	125
Figura 80. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TQ4, de madera de capulí del cantón Quero	125
Figura 81. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TT6, de madera de capulí del cantón Tisaleo.....	127
Figura 82. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TT1, de madera de capulí del cantón Tisaleo.....	127
Figura 83. Módulo de elasticidad a nivel cantonal de la provincia de Tungurahua.	132
Figura 84. Esfuerzo admisible a nivel cantonal de la provincia de Tungurahua	132
Figura 85. Módulos de elasticidad de especies maderables.....	134
Figura 86. Esfuerzo admisible de especies maderables	134
Figura 87. Mapa de zonificación del módulo de elasticidad a flexión estática.....	135
Figura 88. Módulo de elasticidad a nivel cantonal de la provincia de Tungurahua.	137
Figura 89. Esfuerzo admisible a nivel cantonal de la provincia de Tungurahua	137
Figura 90. Módulos de elasticidad de especies maderables.....	139
Figura 91. Esfuerzos admisibles de especies maderables	139
Figura 92. Mapa de zonificación del módulo de elasticidad a tracción paralela	140

RESUMEN

La presente investigación busca suministrar información sobre el empleo de la madera de capulí procedente de los cantones, Ambato, Cevallos, Mocha, Pelileo, Santiago de Píllaro, Quero y Tisalelo, como material estructural en el ámbito constructivo.

Este trabajo experimental cumple con los parámetros establecidos en las normativas ASTM D143-94, ASTM D198, NTE INEN 896 y NEC-SE-MD 2015, de la cual se extrajeron muestras de madera verde o recién cortada y se elaboraron probetas de madera de capulí con un proceso de secado natural. Por medio de ensayos físicos, se determinó el contenido de humedad en estado seco y verde, y mediante ensayos mecánicos se determinó el módulo de elasticidad y el esfuerzo admisible. Además, con los resultados obtenidos en cada cantón se realizaron los gráficos carga vs deformación; esfuerzo vs deformación unitaria; tablas comparativas de los resultados obtenidos y mapas de zonificación.

En base al análisis efectuado en 84 probetas de madera de capulí, se determinó que la madera de capulí puede ser empleada como material estructural, ya que presentó valores representativos en los ensayos mecánicos realizados, siendo la madera procedente del cantón Ambato la que demostró una mayor resistencia, tanto a tracción paralela como a flexión estática.

Palabras claves: Capulí, Propiedades mecánicas, Propiedades físicas, Flexión estática, Tracción paralela, Humedad verde. Humedad seca.

ABSTRACT

This research seeks to provide information on the use of capulí wood from the cantons of Ambato, Cevallos, Mocha, Pelileo, Santiago de Píllaro, Quero and Tisalelo, as a structural material in construction.

This experimental work complies with the parameters established in the standards ASTM D143-94, ASTM D198, NTE INEN 896 and NEC-SE-MD 2015, from which samples of green or freshly cut wood were extracted and specimens of capulí wood with a natural drying process were elaborated. By means of physical tests, the moisture content in the dry and green state was determined, and by means of mechanical tests, the modulus of elasticity and admissible stress were determined. In addition, the results obtained in each canton were used to create load vs. deformation graphs; stress vs. unit deformation; comparative tables of the results obtained and zoning maps.

Based on the analysis carried out on 84 capulí wood specimens, it was determined that capulí wood can be used as a structural material, since it presented representative values in the mechanical tests carried out, being the wood from the Ambato canton the one that showed a higher resistance to both parallel traction and static bending.

Keywords: Capulí, Mechanical properties, Physical properties, Static bending, Parallel tension, Green humidity, Dry humidity.

CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

De acuerdo con la indagación realizada por María García Ortega y Susana Benedetti Ruiz sobre “La madera como material para la construcción: Mitos, Realidades y Oportunidades”, la investigación determinó que la madera como material estructural en la construcción presenta ventajas en una amplia diversidad de aspectos que han alcanzado una importante valoración en países de alto estándar de vida como EE. UU., Canadá, Finlandia, Suecia, Australia, Nueva Zelanda y Japón, entre otros. [1]

Según la investigación realizada por Joselyn Freire Cruz sobre “Caracterización de propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de Eucalyptus nitens procedente de plantaciones pertenecientes a la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A., cantón Latacunga , provincia de Cotopaxi” , se determinó que las características químicas , especialmente las físicas y mecánicas se ven influenciadas tanto por su sitio de plantación , como por las condiciones de su establecimiento. [2]

Según el artículo científico “Densidad y propiedades mecánicas de la madera de Acacia melanoxylon implantada en Argentina” desarrollado por Igartúa D, Moreno K, Piter J y Monteoliva S, la investigación detallo que el comportamiento mecánico de la especie investigada es congruente con el esperado para una madera de densidad media y puede considerarse adecuado para su uso en la industria de la construcción y del mueble. [3]

Según el artículo científico “Propiedades físicas de la palma de palmyra para su utilización sostenible como material estructural” desarrollado por Boakye J, Effah B, Antwi K y Achana E, la indagación concluyó en que la palma se puede emplear como elemento estructural manteniendo así la biodiversidad de los bosques que se encuentran en disminución. [4]

Según el artículo científico “Losas en madera como propuesta de solución al diseño y construcción de pavimentos” desarrollado por Carlos Devia, Fredy Reyes, Ivónn Morales y Juan Pareja, se llegó a demostrar que los prefabricados en madera pueden

ser una alternativa válida dentro del mercado de la construcción de pavimentos en la parte estructural. [5]

1.1.2. Justificación

Uno de los materiales más antiguos empleados por el hombre en la construcción como sistema constructivo o componente estructural es la madera, material natural, flexible y resistente, utilizado hace más de 10.000 años como material principal de la construcción.

Durante siglos la madera ha formado parte de las estructuras en edificaciones alrededor del mundo, tanto por su fácil acceso, y manejo para fabricar piezas de diferentes dimensiones y, sobre todo, por poseer excelentes características mecánicas.

Los parámetros mecánicos de resistencia y rigidez de la madera resultan diferentes según la especie, procedencia y el tipo de solicitación y la dirección de las fibras de la pieza. [6]

Con respecto a la cantidad de viviendas construidas en madera alrededor del mundo, se puede encontrar construcciones muy antiguas en lugares donde el material no ha sido el más aceptable. Por ejemplo, en zonas mediorientales donde la tierra es el principal material se han levantado grandes edificaciones, y las áreas geográficas donde han tenido mayor implantación, están en: Japón, Rusia, Europa Central, Alemania, Austria, Suiza países escandinavos, mientras que, en América su uso se lo puedo encontrar en casi todos sus países. [7]

El uso de la madera en la industria de la construcción en Ecuador es ilimitado. El mercado maderero ecuatoriano no puede proveer madera dimensionada y clasificada para la construcción, y la falta de la estandarización en el tamaño de las vigas, travesaños, postes, marcos de ventanas y puertas, etc., dificulta su adaptación en la rama de la construcción. [8]

Actualmente solo el 14.4 % de madera es utilizado en estructuras. [9] Para gestionar el uso de la madera en el sector de la construcción en Ecuador, es necesario una acción conjunta por parte de los diferentes campos de Ingeniería Forestal y Ambiental e Ingeniería Civil, para garantizar así su demanda.

En la Provincia de Tungurahua es muy común el uso de la madera de aliso, arrayán, capulí y eucalipto, de igual manera es posible encontrar madera proveniente de la amazonia ecuatoriana.

Las ventajas que aporta la construcción en madera van desde un material autoregenerable hasta altas capacidades portantes. Sin embargo, al pasar las épocas los avances de mejores tecnologías de construcción han dejado de lado su protagonismo en el mundo constructivo abriendo puertas a cuestionamientos de su verdadera capacidad constructiva. [10]

El análisis de las propiedades mecánicas, tracción paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra de la madera de capulí, tomando como antecedente el bajo consumo de esta como material estructural para el área de la construcción debido a la insuficiente información que se tiene en nuestro medio sobre las propiedades de esta, busca determinar su factibilidad como material estructural de acuerdo con la norma ecuatoriana de la construcción 2015 (NEC 2015).

Antes de emplear la madera de capulí como material estructural, esta deberá poseer un contenido de humedad óptimo el cual debe ser inferior al 19%. [11]

Para determinar las propiedades mecánicas se efectuará el ensayo de tracción paralela a la fibra y flexión perpendicular con el fin de determinar el esfuerzo y módulo de elasticidad. La resistencia en la dirección paralela es más elevada, por ser inversamente proporcional al ángulo de las fibras.

El trabajo experimental tiene como finalidad generar un impacto positivo en el área de la construcción, ya que el mismo servirá de guía para el empleo de la madera en sistemas constructivos fomentando su sostenibilidad y aportando a la reducción de impacto ambiental ya que en la actualidad el sector de la construcción da más prioridad a los materiales no renovables.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar las propiedades mecánicas estructurales de la madera de capulí, localizada en los diferentes cantones pertenecientes a la provincia de Tungurahua.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar probetas de madera de Capulí procedentes de los diferentes cantones pertenecientes a la provincia Tungurahua según la normativa ASTM D143 -94.
Se realizará probetas siguiendo las especificaciones de la normativa ASTM D143-94, con el fin de cumplir a cabalidad los requerimientos necesarios para los respectivos ensayos.
- Determinar el contenido de humedad de la madera de Capulí proveniente de los diferentes cantones de la provincia de Tungurahua.
Con en el empleo de fórmulas estipuladas en la normativa se determinará el contenido de humedad de la madera, es decir valores técnicos, los cuales nos permitirán conocer si la madera puede ser considerada madera con fines estructurales.
- Determinar las propiedades mecánicas, tracción paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra de las probetas de la madera de Capulí.
Con el fin de obtener resultados óptimos se establecerá el procedimiento de ensayo estipulado en la Normativa ASTM D143-94, para obtener resultados veraces.
- Realizar una tabla comparativa de las propiedades mecánicas de la madera de Capulí obtenida en los diferentes cantones de la Provincia de Tungurahua.
Finalmente, se establecerá una tabla comparativa de los valores obtenidos, con la misión de ser un instrumento que sirva a profesionales y futuros profesionales en la construcción con madera ya que en la actualidad no se cuenta con registros de las propiedades mecánicas de la madera de capulí.

1.3.Marco Teórico

1.3.1. Historia de la madera

La madera es uno de los recursos naturales más antiguos, con optimas características físicas y mecánicas, además de ser un recurso renovable. Su empleo en la construcción ha ido evolucionando desde la antigüedad hasta la actualidad. Uno de los primeros cobijos construidos por el hombre tuvo por material elementos vegetales tales como ramajes, cañas, troncos, etc. La evolución de la sociedad ha logrado que la madera se junte con otros materiales como el adobe y ladrillo, proporcionando una función constructiva más adecuada. [12]

El empleo la madera en la construcción data de los años 500 al 100 a.C., la misma que fue empleada en la construcción de techos por la civilización romana y egipcia. después de 1200 años en Europa se desarrolló la construcción moderna con el empleo de madera, las técnicas de construcción en madera al pasar los años se desarrollan en todo el mundo, incluyendo Asia, África y las Américas.

Según Essays, 2013 a principios del siglo XX fue descubierta la madera laminada, lo que genero un gran cambio en la construcción con madera ya que se logró cubrir luces de gran dimensión con piezas de escuadrías más pequeñas. La madera laminada fue utilizada para la construcción de edificaciones militares, y cobertizos de aviones y fabricas durante la Segunda Guerra Mundial. [13]

En la actualidad tras el descubrimiento de nuevos materiales, metales, plásticos, cerámicas, etc. Sigue siendo la madera y sus derivados uno de los materiales más empleados a nivel mundial, anualmente se emplean alrededor de 3.800 millones de m³ de madera. [14]

1.3.2. La madera

La madera es un material anisotrópico es decir es un material que posee diferentes propiedades físicas según la dirección en que se mide.

Se entiende por madera a las partes de un árbol que pueden utilizar, siendo estas, por lo general, troncos y, en un mayor alcance, también, ramas y raíces. Se puede utilizar la madera de los troncos como laminas, chapas finas, triturada en tableros y como macizo para obras de construcción y carpintería. La madera de ramas y raíces se

emplea para obras finas de carpintería o triturada para la obtención de alguna resina o como medicamentos regionales. [15]

1.3.2.1. Partes de la madera

Las partes de la madera se clasifican en:

a) Corteza: Capa más externa del árbol conformada por células muertas, esta capa tiene la función de brindar protección contra los agentes atmosféricos, también denominada capa impermeable.

b) Cambium: Capa fina que se sitúa entre la corteza y la madera de los árboles, es la encargada del crecimiento y desarrollo del árbol.

c) Albura: Capa de tono blancuzco que se sitúa debajo de la corteza, está compuesta por células vivas, cuya función primordial es conducir el agua y sales minerales de las raíces a las hojas.

d) Duramen: Madera dura y consistente, que se sitúa en el centro del árbol, cuya función es proporcionar al tronco del árbol una estructura interna fuerte y resistente. El duramen también es conocido como el corazón de la madera.

e) Anillos de crecimiento: Representan las temporadas de crecimiento del árbol, y si la madera es dura o blanda. La madera dura posee anillos más cercados en comparación a la madera blanda.

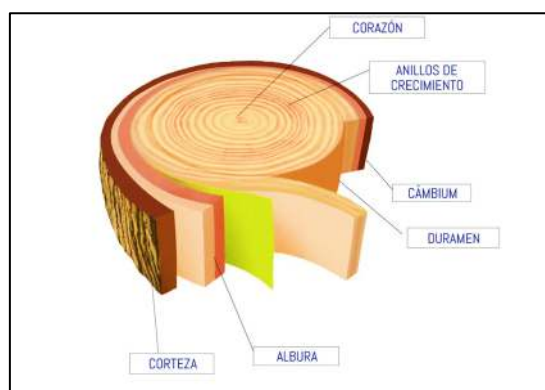


Figura 1. Partes de la Madera

Fuente: [16]

1.3.2.2. Composición de la madera

La madera está compuesta por un sin número de células. Esta pared celular tiene la característica principal de flexibilidad, tras pasar el tiempo la misma se endurece, sobre todo por una acumulación de celulosa, la misma que otorga impermeabilidad. Además, las fibras de celulosa constituyen un entramado en el cual se acumula la lignina. Únicamente cuando esta se ha depositado en la pared celular se genera la madera. [15]

La madera posee valores aproximados de: 50 % de carbono (C), 43% de oxígeno (O), 6 % de hidrogeno (H), 0.8% de nitrógeno y 0.2% de sustancias minerales (cenizas). [17]

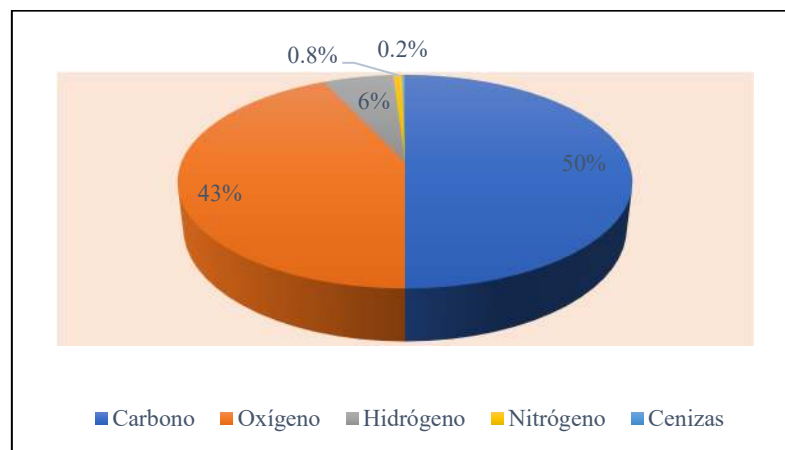


Figura 2 . Composición Química Elemental

Fuente: Autoría Propia

La composición química de la madera está dada por, celulosa en un porcentaje del 50%, la misma que constituye el principal componente químico, siendo esta insípida, inolora e incolora también está compuesta por lignina en un 30% y finalmente productos orgánicos como almidón, azúcares, aceites esenciales, sales minerales y resinas en un 20%. [15]

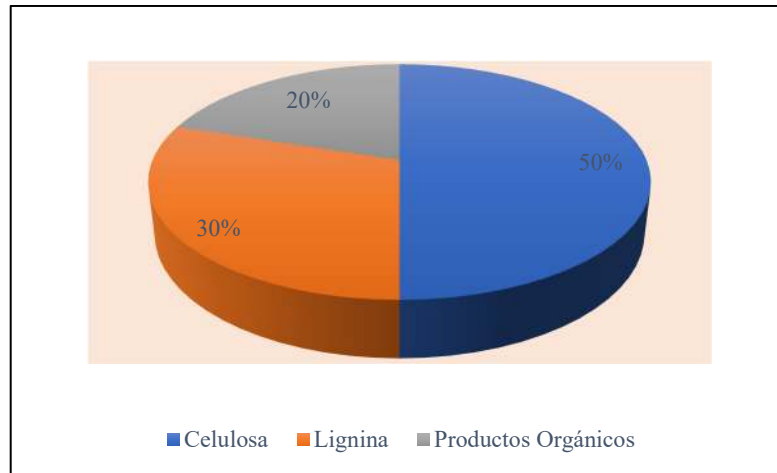


Figura 3. Composición Química de La Madera

Fuente: Autoría Propia

1.3.2.3. Propiedades físicas de la madera

Se establece como propiedades físicas a las características que pueden ser determinadas sin modificar la integridad de la madera, tales características dependerán del tipo de árbol del cual se extrajo la muestra.

a) Color: El color depende de la especie a la que pertenece el árbol, edad, situaciones de crecimiento y principalmente, del clima. Las especies de climas templados o fríos poseen colores empalidecidos, mientras que las de los climas tropicales, posee tonos más cálidos. Además, el color es un recurso muy ventajoso para determinar el tipo de especie a la que pertenece la madera. [18]

Tabla 1. Tonalidad de la madera

MADERA	COLOR	ILUSTRACIÓN
Guatambú	Blanco	
Guayubira	Negro	

Pino	Amarillo	
Capulí	Rojizo amarillento	
Laurel	Pardo	
Cedro	Rojizo	

Fuente: Autoría Propia

b) Brillo: Es la amplitud de irradiar de manera orientada, el flujo luminoso, esta amplitud depende de manera directa de la densidad, número y disposiciones de los radios medulares. [18]

c) Olor y Sabor: La madera recién cortada y almacenada poseen un olor fuerte, debido a el proceso lento de evaporación de los aceites y resinas, generalmente un buen olor determina una madera sana, caso contrario la madera posee un síntoma de alteración. La madera de incienso posee un buen olor en comparación a la madera de laurel negro. En cuanto al sabor la madera se caracteriza por ser insípida. [15]

d) Humedad: Se establece como la relación ente la masa de agua que se encuentra en un volumen dado de madera y la masa de ese volumen de material totalmente seco.

El porcentaje de agua que contenga un árbol dependerá de varios factores como son: temporada, hora del día, edad del árbol, esbeltez. En un árbol con poca edad el contenido de humedad será mayor en comparación que un árbol viejo. El contenido de humedad tendrá aumentos significativos en la temporada de invierno es decir en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo y durante las primeras y últimas horas del día. [15]

En madera verde o recién cortada el contenido de humedad varia del 30% al 200% o más. [19]

Estos valores podrán reducirse empleándose técnicas de secado al aire libre o artificial, al emplear el método de secado al aire los valores se reducen al 16% y 18%, y el secado artificial generará valores inferiores al 16%. [15]

El contenido de humedad se determina mediante la siguiente fórmula de cálculo:

$$H = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Donde:

$H =$ Contenido de humedad (%)

$P_h =$ Peso húmedo

$P_s =$ Peso anhidro

e) Dureza: Se define como la resistencia que posee la madera al ser penetrado por otro, mientras más años posea el árbol mayor será su resistencia. La dureza en la madera depende del contenido de humedad y del peso específico que esta contenga.

f) Peso específico: Al considerarse la madera un material permeable e higroscópico es decir que tiene la capacidad de absorber y exhalar la humedad, cuyo volumen crece o reduce la variación de su contenido de agua, se definen tres grupos de pesos específicos:

g) Peso específico aparente: Es la relación entre el peso y su volumen, incorporando el volumen de los poros que posee la madera. El peso específico aparente se clasifica en:

Peso específico anhidro: Se obtiene mediante la relación del peso y el volumen anhidro en estado seco. [18]

$$\rho_o = \frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen anhidro (Seco)}}$$

Peso específico húmedo: Se obtiene mediante la relación entre y peso y volumen para un contenido de humedad normalizado. El contenido de humedad según el estándar mundial debe ser del 12% para que sea considerado como peso específico normal. [18]

$$\rho_h = \frac{\text{Peso (\% de humedad)}}{\text{Volumen (\% de humedad)}}$$

Peso seco volumétrico, saturado: Se obtiene mediante la relación del peso anhidro y el volumen resultante el cual debe poseer un contenido de humedad mayor al 30%. [18]

$$R_s = \frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen \% de humedad}}$$

Peso seco volumétrico, húmedo: Se obtiene mediante la relación del peso anhidro y el volumen resultante el cual debe poseer un contenido de humedad menor al 30%. [18]

$$R = \frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen \% de humedad}}$$

h) Peso específico real: Se obtiene mediante el cociente entre el peso anhidro y su volumen real, el volumen real se determina mediante la diferencia del volumen aparente y volumen de aire. [18]

i) Peso específico comercial: Hace referencia a los valores comerciales aplicado a madera seca al aire, el contenido de humedad oscila entre el 16 y 18%. [18]

j) Densidad de la madera: La densidad es la relación entre la masa y el volumen, este volumen es constante cuando se encuentra en estado verde y disminuye cuando el contenido de humedad es menor que el punto de saturación de las fibras y vuelve a ser constante cuando alcanza el estado seco al horno. [20]

La densidad de la madera se expresa en el Sistema Internacional (S.I.) en unidades de gr/cm³.

Según las condiciones de humedad de la madera se determinan los siguientes tipos de densidad:

-Densidad verde o saturada: Es la correlación entre la masa y el volumen de la madera en estado verde, donde el contenido de humedad deberá ser superior al 30%. [19]

-Densidad seca al aire: Es la relación entre el peso y el volumen de la madera en estado anhidro, es decir, que no contiene agua, donde el contenido de humedad deberá ser aproximadamente del 12%. [19]

-Densidad seca al horno: Es la relación entre el peso y el volumen de la madera en estado anhidro, es decir, que no contiene agua, donde el contenido de humedad deberá ser el 0%. [19]

-Densidad básica: Es la relación entre el peso de la madera en estado anhidro y el volumen de este en estado verde con un contenido de humedad mínimo del 30%. Esta propiedad es un indicativo de las propiedades mecánicas que posee la madera, la densidad está en función de la edad que posea un árbol ya que a mayor edad la densidad aumenta. [19]

1.3.2.4. Propiedades térmicas de la madera

La madera, se dilata con la presencia de calor, pero a mayor temperatura menor contenido de humedad. La madera, por ende, es invariable bajo la acción del calor. Además, posee un calor específico que radica en los valores entre 0.4 y 0.7 kcal/kg °C. La conductividad térmica que posee la madera es muy baja, el valor es de aproximadamente 0.13. La madera posee un buen comportamiento bajo la presencia de calor, esta se calienta en un menor porcentaje que otros materiales, por ende, se emplea la misma como materia prima en la elaboración de ventanas, debido a su óptimo poder aislante. [12]

1.3.2.5. Propiedades acústicas de la madera

Posee una capacidad óptima de aislamiento acústico, según el tipo de madera y la dirección de las fibras, la velocidad de expansión del sonido será variable, en la dirección axial y transversal la velocidad es de 4500 m/s y 3000 m/s respectivamente. [12]

1.3.2.6. Propiedades eléctricas de la madera

Según el contenido de humedad que la madera posea variara su conductividad, la madera en estado seco es un buen aislante, pero en estado húmedo deja pasar con gran habilidad la corriente. [12]

1.3.2.7. Propiedades mecánicas de la madera

Los componentes que forman la madera, lignina y celulosa, se comportan de una manera similar a los componentes que conforman el hormigón armado. Es así como el compuesto lignina actúa como el hormigón debido a su óptima capacidad de resistencia

a compresión, mientras que la celulosa actúa como el acero debido a su capacidad de resistencia a tracción. [12]

La madera bajo la acción de cargas pequeñas se deforma según la ley de Hooke, la misma que menciona que la deformación es proporcional a la fuerza por unidad de superficie. En la madera se debe considerar la dirección del esfuerzo y el contenido de humedad que esta posea.

Las direcciones longitudinal, tangencial y radial son las direcciones principales ortogonales entre sí de la madera.

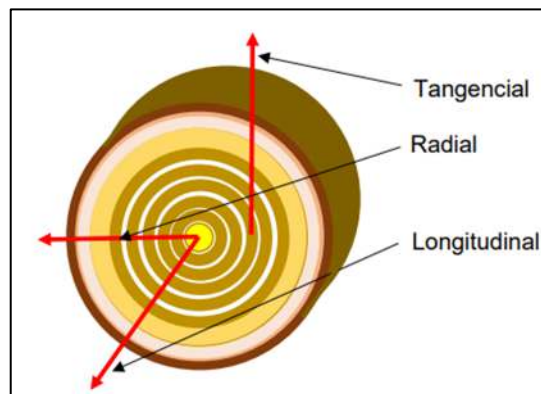


Figura 4. Eje Radial, Longitudinal y Tangencial de la Madera

Fuente: [6]

a) Compresión paralela a las fibras

La madera muestra gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras, esto se genera debido a que las fibras esta orientadas con su eje longitudinal en esa dirección y coincide, o está muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular, la capa media es la capa de mayor espesor de las fibras. La resistencia obtenida en la madera a compresión en sentido paralelo a sus fibras es de alrededor la mitad de su capacidad de resistencia a tracción. [20]

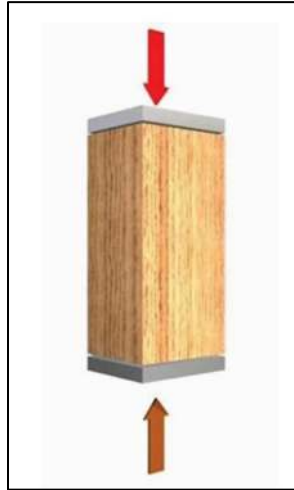


Figura 5. Esquema de ensayo a compresión paralela a las fibras de la madera

Fuente: [21]

b) Compresión perpendicular a las fibras

Bajo el efecto de este tipo de carga las fibras de la madera están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje y que genera un esfuerzo a compresión en las pequeñas cavidades que se encuentran en la madera. Esta resistencia está caracterizada por el esfuerzo al límite proporcional el cual varía entre $1 / 4$ y $1 / 5$ del esfuerzo del límite proporcional en compresión paralela. [20]

Los valores de resistencia a la compresión perpendicular a las fibras son muy inferiores en comparación a los valores de compresión paralela a las fibras.

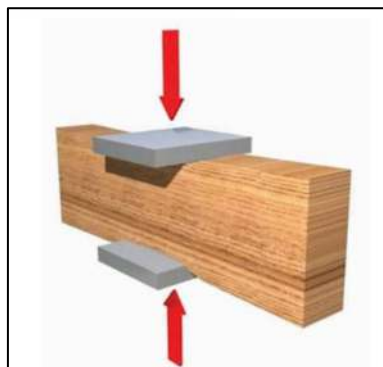


Figura 6. Esquema de ensayo a compresión perpendicular a las fibras

Fuente: [21]

Una ventaja que posee la madera sometida a esfuerzos de compresión perpendicular a sus fibras reside en que a medida que el material experimenta deformación se vuelve mucho más denso debido a la exclusión de sus espacios haciéndose más fuerte o resistente, un claro ejemplo son las traviesas del ferrocarril. [21]



Figura 7. Durmientes de madera del ferrocarril

Fuente: [22]

c) Resistencia a la tracción

Se genera por la acción de una fuerza que tiende a romper la pieza de madera, alargando su longitud y reduciendo su sección transversal.

La madera es mucho más resistente a tracción en el sentido paralelo a las fibras en comparación del sentido perpendicular a las fibras, esto se debe a que en el sentido paralelo a las fibras estiramos las fibras hasta cortarlas y en el sentido perpendicular separamos los manojos de fibras unos a otros. [23]

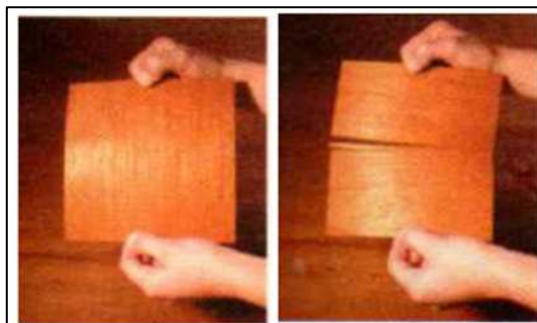


Figura 8. Esquema de la capacidad de resistencia a tracción paralelo y perpendicular a las fibras.

Fuente: [23]



Figura 9. Esquema de ensayo a tracción paralela a las fibras.

Fuente: [21]

d) Resistencia a corte o cizallamiento

Se genera un esfuerzo de corte cuando dos o más fuerzas iguales, paralelas y de sentido opuesto, tienden a hacer resbalar, una sobre otra, las superficies adyacentes de un miembro. [23]

Debido a el alineamiento de las fibras de la madera, esta es resistente al corte en sentido perpendicular a las fibras, esta resistencia es de tres a cuatro veces mayor. [20]



Figura 10. Esquema de ensayo de cizallamiento longitudinal.

Fuente: [21]

e) Resistencia a la flexión

Para que un material posea un óptimo comportamiento a flexión tiene como requisito primordial que la resistencia tanto de tracción como de compresión sean semejantes. La madera desempeña este requisito, siendo su comportamiento a la flexión por unidad de peso mayor que el hormigón y el acero. Este parámetro está influenciado por el contenido de humedad que posee la madera por consiguiente para generar una mayor resistencia a flexión de la madera, esta deberá estar totalmente seca. [23]

Esta fuerza es mayor cuando es aplicada perpendicularmente a las fibras y mínima en las direcciones radial y tangencial. [24]

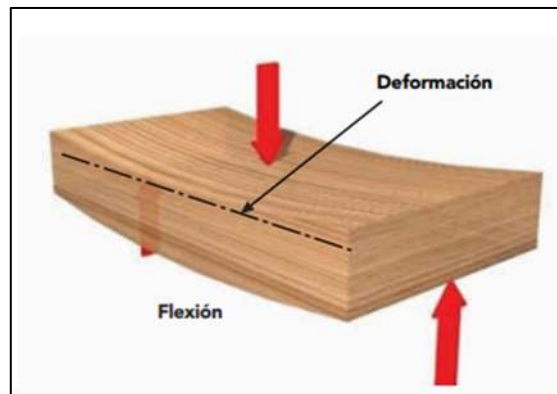


Figura 11. Esquema de la resistencia a flexión.

Fuente: [21]

1.3.2.8. Propiedades elásticas de la madera

Esta propiedad define el comportamiento elástico que posee la madera. El módulo de elasticidad, corte y de Poisson simbolizan las características elásticas del material, la madera como material ortotrópico posee tres módulos de elasticidad, tres de corte y seis módulos de Poisson, orientados y definidos según los tres ejes ortogonales. Por práctica desde la perspectiva ingenieril se asume que el material tiene la característica de homogeneidad lo que permite considerar únicamente tres ejes. [20]

a) Módulo de elasticidad (MOE)

El módulo de elasticidad es la propiedad primordial para maderas que serán empleadas en el ámbito estructural. Esta propiedad nos permite determinar la capacidad que posee

la madera al resistir deformaciones, entre más alto sea el valor del módulo de elasticidad, la madera por ende poseerá más rigidez.

Este módulo se obtiene directamente de la curva carga vs deformación en un ensayo de forma indirecta mediante el ensayo a flexión. [20]

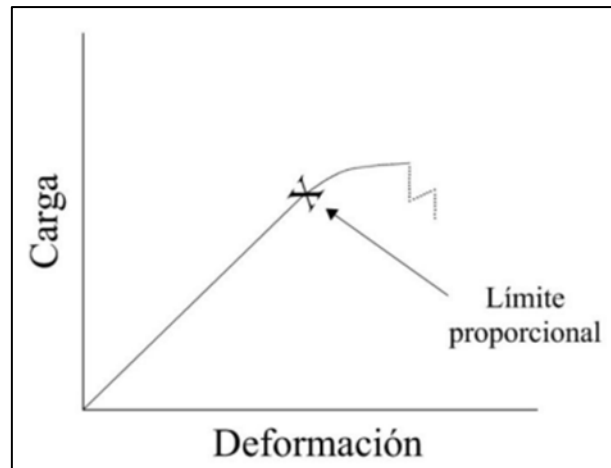


Figura 12. Gráfico de carga – deformación para la madera

Fuente: [25]

b) Módulo de corte o rigidez

Relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte. El módulo de corte o rigidez se expresa en función del módulo de elasticidad en dirección longitudinal. Los valores obtenidos para esta propiedad varían entre 1/16 y 1/25 del MOE. [20]

c) Módulo de Poisson

Se conoce como módulo de Poisson a la relación que existe entre la deformación lateral y longitudinal. Para el caso de la madera existen en general seis módulos de Poisson ya que se relacionan las deformaciones en sus tres direcciones, longitudinal, radial y tangencial. La madera presenta diferentes valores según las direcciones que se consideren, es así como, para maderas coníferas, los valores están en un rango de 0.325 a 0.40 para densidades de 0.5 gr/cm³. [20]

1.3.2.9. Tipos de madera

Según la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC2011) se clasifican en dos grandes grupos:

a) Maderas duras o frondosas: Este tipo de madera procede de árboles nativos con crecimiento lento, esta característica hace que este tipo de madera contenga mayor densidad. Debido a su lento crecimiento se considera como un material no renovable y con un alto costo para su empleo en el ámbito constructivo. En nuestro país se emplean especies como: Eucalipto, Chanul, Caoba, Guayacán, Yumbingue, Teca, etc.

b) Maderas suaves: Este tipo de madera proviene de árboles de orden de las coníferas, es decir arbustos ya árboles con ramas que se presentan en forma cónica. Este tipo de madera es de crecimiento rápido, y posee baja densidad debido a su ligereza. En nuestro país se emplean especies como: Pino y ciprés.

1.3.3. Recurso forestal nacional

Nuestro país consume aproximadamente 5 millones de metros cúbicos al año de madera. La fuente principal de abastecimiento es el bosque nativo, que alcanza un 70% y el restante 30% pertenece a plantaciones forestales. [19]

1.3.4. Plantaciones forestales en el Ecuador

Nuestro país tiene posee una superficie terrestre de 28'356.000 hectáreas (ha), aproximadamente 256.370 km^2 , del total se deduce que 14.4 millones de hectáreas (ha) de tierra se usan con fines forestales, representando más del 50% del territorio, sin embargo, las plantaciones forestales ocupan 160.000 ha, representando el 0.62 % de la superficie forestal, aproximadamente el 80.000 de hectáreas se encuentran en la región sierra, 60.000 de hectáreas en la región costa y alrededor de 20.000 de hectáreas en la región amazónica. [26]

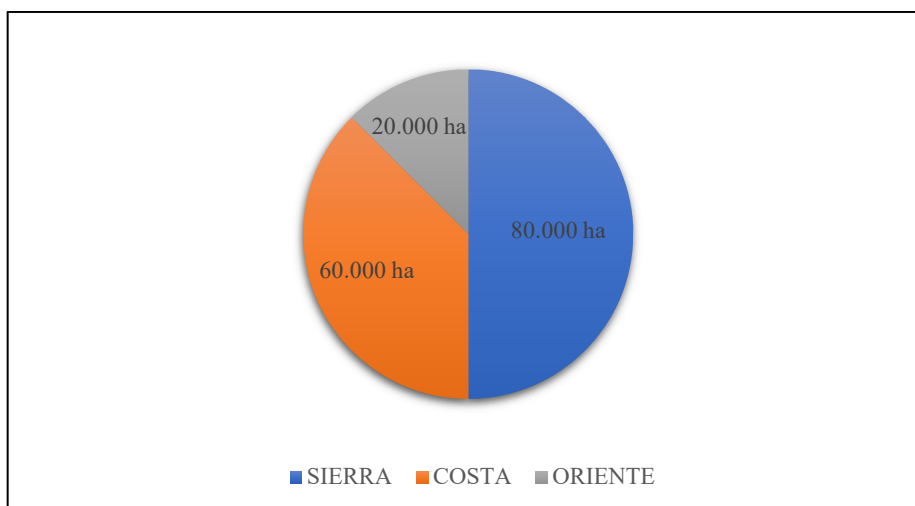


Figura 13. Plantaciones forestales en el Ecuador

Fuente: [26]

Los escenarios climatológicos, jornadas cálidas, noches frías, agua en estado natural y luz solar durante 12 horas por periodos de un año son factores que generan un rápido crecimiento en las diversas especies forestales que residen en el país. El Pinus spp., Eucalyptus spp., y Teca, son las especies de madera que más se ofertan en el mercado nacional e internacional. La madera que se destina a nivel mundial se expone en la siguiente tabla. [26]

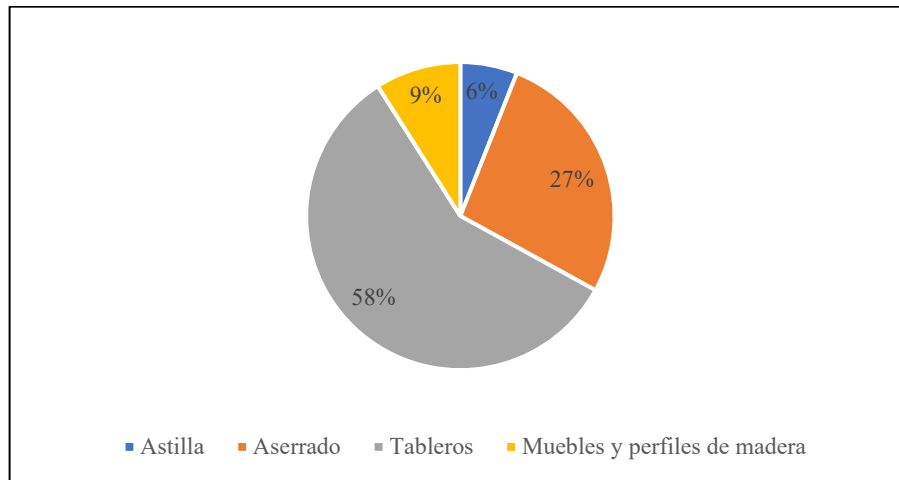
Tabla 2. Especies maderables exportadas

PAÍS DE EXPORTACIÓN	TIPO DE MADERA
Japón	Eucalipto
India	Teca
Estados Unidos de América	Otras

Fuente: [26]

Ecuador en el año 2003, exporto aproximadamente 95 millones de dólares mientras que importo 270 millones, generando desbalance comercial ya que existe un déficit comercial anual considerable. Debido a que no existe en la actualidad información verificable sobre la exportación de productos maderables, el Banco Central del Ecuador proporciona las cifras registradas en el año 2004, las misas que se exponen en la siguiente figura. [26]

Tabla 3. Productos en las exportaciones del sector forestal



Fuente: [26]

1.3.5. Calendario agrícola

El calendario agrícola es un instrumento que nos permite conocer las fechas exactas para plantar y cosechar las diferentes especies de plantas, el empleo de dicho calendario es fundamental ya que a través de este se conoce el periodo del año donde es recomendable realizar las actividades de siembra.

El efecto que las fases de la luna generan en la tala de un árbol son primordiales ya que, si el árbol es talado en luna nueva y cuarto menguante, la savia estará concentrada en las raíces y en consecuencia el tronco del árbol poseerá un menor porcentaje de agua, generando un efecto positivo en la madera con fines estructurales ya que la misma será uniforme, y perdurable.

En la siguiente tabla se exponen las fechas donde podrá ejecutarse el proceso de cosecha en el año 2023.

Tabla 4. Calendario lunar 2023

MES DEL AÑO	LUNA NUEVA	CUARTO MENGUANTE
ENERO	21	14
FEBRERO	20	13
MARZO	21	14
ABRIL	19	13
MAYO	19	12
JUNIO	17	10
JULIO	17	9
AGOSTO	16	8
SEPTIEMBRE	14	6
OCTUBRE	14	6
NOVIEMBRE	13	5
DICIEMBRE	12	5

Fuente: [27]

1.3.6. Proceso de producción de madera

Para la fabricación de la madera se ejecutan una serie de procesos, desde su extracción en los diferentes bosques, hasta la obtención de tablones como producto final. El proceso de obtención de madera se detalla a continuación:

a) Tala o apeo: Es el proceso que se lleva a cabo para cortar el árbol con el empleo de equipos mecánicos como sierras mecánicas o maquinas cosechadoras. Una vez realizado el proceso de apeo el agua libre que se encuentra en el árbol es la primera en salir.

b) Poda: Después, de ejecutar el proceso de tala, los árboles quedan tendidos en el suelo, podar consiste en eliminar sus ramificaciones con el empleo de sierras mecánicas.

c) Transporte: Para la operación de transporte se construyen deslizadores con pendientes pronunciadas o a su vez se emplean grandes plataformas para que sean transportados desde su lugar de origen a su destino.

d) Descortezado: Para llevar a cabo esta operación los troncos deberán ser transportados al aserradero, ya que el descortezado se ejecuta en la cadena de rodillos.

e) Tronzado: El proceso de tronzado consiste en cortar en trozos a los troncos con el empleo de sierras circulares.

f) Secado: El secado de madera es el proceso mediante el cual se elimina el excedente de agua que se presenta en la madera, este proceso es indispensable ya que este dependerá la trabajabilidad óptima de la misma.

g) Cepillado: Finalmente, mediante el empleo de la cepilladora de madera, se rebaja y extrae las láminas de madera para proporcionar un acabado óptimo.

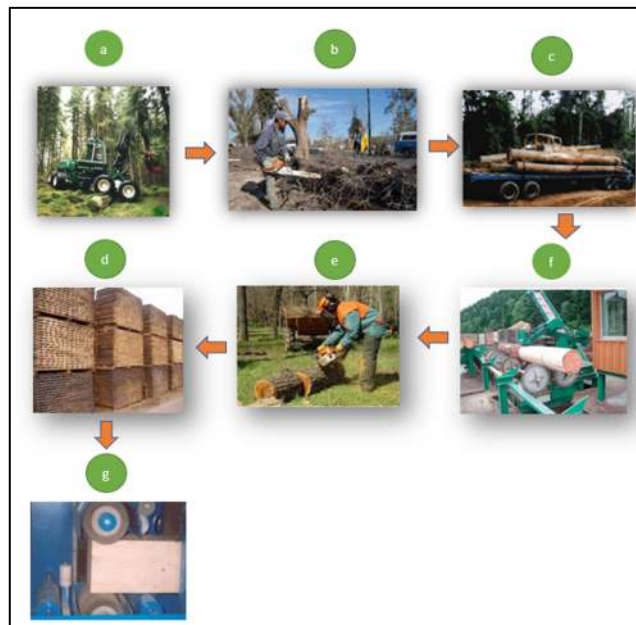


Figura 14. Esquema del proceso de obtención de la madera.

Fuente: Autoría Propia

1.3.7. Construcciones de madera

El empleo de madera está alcanzando una expansión sin precedentes, la producción y el procesamiento de la madera emplea un menor porcentaje de energía a comparación de los demás materiales de construcción como el hormigón y el acero, siendo este un material de construcción renovable, que se cultiva de forma natural.

Las viviendas construidas en madera alrededor del mundo se encuentran en: Japón, Rusia, Europa Central, Alemania, Austria, Suiza y países escandinavos, mientras, que en América su empleo se lo encuentra en la mayoría de sus países. [7]

Actualmente nuestro país cuenta con un sin número de construcciones de madera, a continuación, se muestra la casa retoños ubicada en Quito construida en el año 2016 y la casa de campo de la Quinta San Luis ubicada en el cantón Quero perteneciente a la Provincia de Tungurahua construida en el año de 1969 con madera de capulí perteneciente a la zona.



Figura 15. Casa Retoño

Fuente: [28]



Figura 16. Casa de Campo Quinta San Luis

Fuente: Autoría Propia

1.3.8. Madera estructural

La madera estructural es todo tipo de madera empleada para construir elementos, que conformen parte de sistemas estructurales de una construcción. Posee ventajas como: ligereza, y la capacidad de desarrollar fuerzas mayores de tensión, flexión y compresión por unidad de peso. [7]

Se denomina madera estructural aquella que soporta un tipo de esfuerzo en una edificación, en otras palabras, forma la parte resistente de componentes como: vigas, columnas, techos, paredes, muros y otros. [19]

1.3.8.1. Sistemas estructurales de madera

Los sistemas estructurales donde se emplea madera son: Sistema entramado, sistema poste y viga, sistema de armaduras.

a) Sistema entramado: La estructura está constituida por elementos de sección transversal pequeña y a su vez esbeltos, pero dispuestos a corta distancia entre ellos. Con este sistema se construyen muros, pisos, entrepisos, techos, todos ellos arriostrados o cubiertos por entablado. [20]

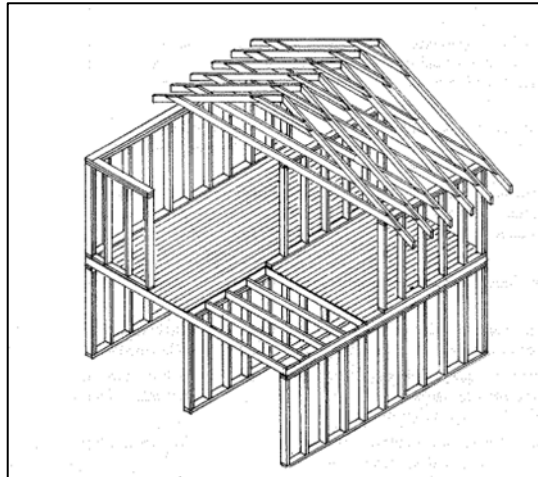


Figura 17. Sistema Entramado

Fuente: [20]

b) Sistema poste y viga: Este sistema está constituido por vigas y columnas, los cuales se colocan en forma de pórticos. Generalmente estos van espaciados alrededor de 1.5 m en el caso de que estén unidos por entablado, y en el caso que estén unidos por viguetas y entablado van a 3.50 m. Este sistema se emplea a construcciones de uno, dos, tres o más pisos. [20]

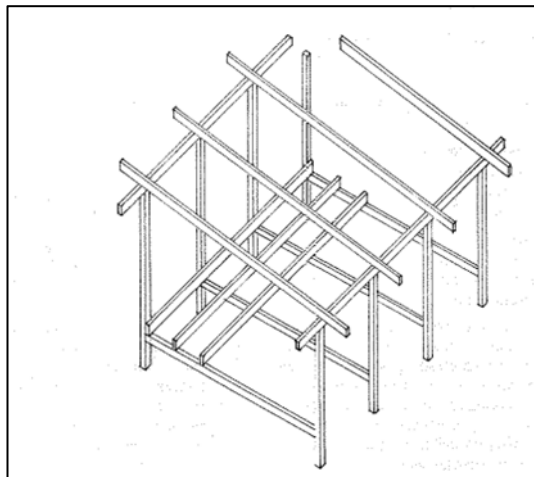


Figura 18. Sistema Poste y Viga

Fuente: [20]

c) Sistema de armaduras: Es el sistema de techado constituido por armaduras o cerchas, las cuales cubren alrededor de 10 m de luz y están dispuestas entre 0.60 a

1.20m. Para la construcción de cerchas se emplea piezas esbeltas y de poca longitud.
[20]

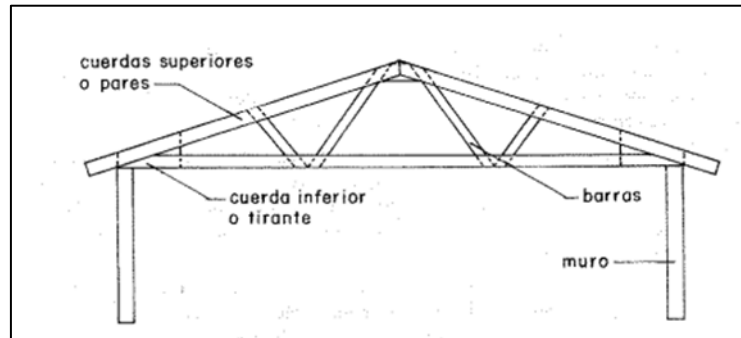


Figura 19. Sistema de Armaduras

Fuente: [20]

1.3.8.2. Clasificación estructural de las maderas

Según la Normativa Ecuatoriana de la Construcción 2015, en su código NEC-SE-MD referente a estructuras de madera determina tres grandes grupos estructurales A, B y C, en dependencia a la densidad básica, alta, media y baja. La densidad alta “A” está comprendida entre 0.71 a 0.90 g/cm³, “B” entre 0.56 a 0.70 g/cm³, y “C” entre 0.40 y 0.55 g/cm³.

Tabla 5. Especies Estudiadas en el Ecuador para Madera Estructural.

GRUPO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTIFÍCO
A	Caimitillo (Colorado) -Guayacán Pechiche	Chrysophy cainito Minquartia guianensis
B	Chanul Moral Fino Pituca	Humiriastrum procerum Chlorophora tinctora Clarisia racemosa
C	Fernansánchez Mascarey Sande	Triplaris guayaquilensis Hieronyma chochoensis Brosimum utile

Fuente: [20]

1.3.8.3. Condiciones para madera estructural

Según la Normativa Ecuatoriana de la Construcción 2015, en su código NEC-SE-MD referente a estructuras de madera menciona los requisitos que deberá poseer la madera para su posterior empleo en estructuras los mismos que se detallan a continuación:

- La madera debe provenir de especies maderables correspondientes a los grupos estructurales A, B o C.
- Cumplir con la normativa de clasificación visual.
- Usar madera seca con un porcentaje de contenido de humedad máxima del 19%, y en el caso de usar madera laminada un contenido de humedad del 12%.
- Las estructuras de madera deberán diseñarse para poder resistir de una manera adecuada cargas vivas, muertas y cargas de sismo.
- Emplear madera con optima durabilidad natural o resguardada de manera apta.
- El secado de la madera puede ser de manera natural o artificial empleando cámaras de secado.
- Para su empleo se deberá considerar su variabilidad natural y defectos, higroscopicidad y dimensiones, combustibilidad y riesgo de ataque biológico es decir ataque de hongos e insectos y químicos por parte de agentes atmosféricos. [19]

1.3.8.4. Clasificación visual por defectos para madera estructural

El objetivo de la clasificación visual es detectar cualquier tipo de defecto presente en la madera con fin estructural con el objetivo de obtener piezas de madera con condiciones óptimas. Esta normativa se aplica para madera aserrada.


En los aserraderos donde se comercializa una gran variedad de piezas de madera, se asume que su producción con criterios mínimos de fabricación, del 40 al 45% se clasificaría como madera con fines estructurales. [20]

Los agentes que modifican la calidad de la madera se mencionan a continuación:

a) Defectos relativos a la constitución anatómica

En la siguiente tabla se mencionan algunos de los defectos relativos a la constitución anatómica de la madera.

Tabla 6. Defectos relativos a la constitución anatómica


	Defecto	Ilustración
Albura	Ataque de hongos.	 <p>Médula</p>
Duramen quebradizo	Madera anormal en la zona central del tronco.	
Médula	Componente céntrico del duramen, susceptible a la arremetida de hongos.	
Grano Inclinado	Desviación angular con respecto al eje longitudinal del canto de un fragmento de madera.	

Fuente: [20]

b) Ataque de agentes biológicos

En la siguiente tabla se mencionan algunos de los defectos relativos a los defectos relativos al ataque de agentes biológicos.

Tabla 7. Defectos relativos al ataque de agentes biológicos

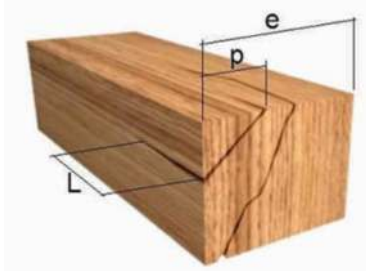
	Defecto	Ilustración
Mancha	Cambio de color producido por la presencia de hongos.	 <p>Perforaciones pequeñas</p>
Perforaciones	Agujeros producidos por la presencia de insectos.	
Pudrición	Desintegración de la madera.	

Fuente: [20]

c)Apeo, transporte y almacenamiento

En la siguiente tabla se mencionan algunos de los defectos producidos en el apeo, transporte y almacenamiento de la madera.

Tabla 8.Defectos producidos durante el apeo, transporte y almacenamiento

	Defecto	Ilustración
Desgarramiento	Rotura generada en la base del tronco del árbol en el proceso de tala.	 Rajadura
Fractura	Ruptura de las fibras de la pieza de madera por esfuerzos de compresión o flexión.	
Rajadura	Se generan por la separación de las fibras y afectan a los dos planos opuestos.	

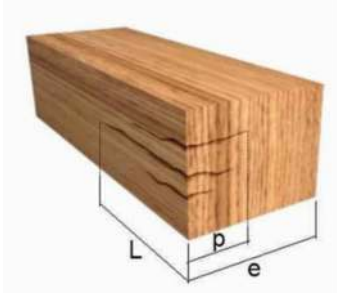

Fuente: [20]

d)Secado

En la siguiente tabla se mencionan algunos de los defectos producidos durante el proceso de secado.

Tabla 9.Defectos originados durante el secado

	Defecto	Ilustración
Alabeo	Deformación que se genera en la madera por la curvatura de sus ejes.	

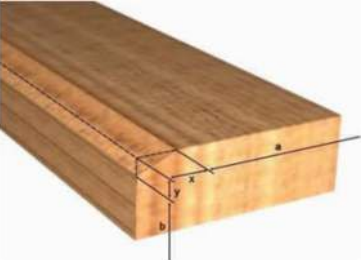
Grieta	Separación de los elementos que constituyen la madera.	 <p>Grieta</p>  <p>Arqueadura</p>
Arqueadura	Es el alabeo de las caras en su sentido transversal.	

Fuente: [20]

e) Aserrío

En la siguiente tabla se mencionan los defectos producidos durante el proceso de aserrío.

Tabla 10. Defectos originados durante el aserrío

	Defecto	Ilustración
Arista faltante	Carencia de madera en 1 o más aristas.	 <p>Arista faltante</p>
Mala escuadría	Deficiente proceso de labrado en una pieza de madera.	
Picada	Depresión de una pieza de madera generado por un corte irregular.	

Fuente: [20]

1.3.8.5. Influencia del secado en elementos de madera

Antes de que la madera se emplee en el ámbito de la construcción deberá pasar por un proceso de secado con el fin de poseer un contenido de humedad óptimo y una serie de ventajas que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11. Ventajas del empleo de madera seca

VENTAJAS DE LA MADERA EN ESTADO SECO	Alta capacidad mecánica.
	Optimiza la estabilidad dimensional.
	Mayor resistencia a el ataque de hongos e insectos.
	Disminución del peso por ende se facilita y reduce el precio de transporte.
	Mejor impregnación de preservantes en estado líquido.
	Facilidad para trozar y alisar.
	Reduce la presencia de desperfectos.
	Mejor aislamiento acústico y térmico.

Fuente: Autoría Propia.

Por tal razón es indispensable que la madera pase por un proceso de secado, donde se distingue el secado natural con apropiadas técnicas de ventilación y el secado artificial donde se emplean hornos o cámaras de secado.

a) Secado natural: Este método es el más simple y económico ya que consiste en secar la madera a base del aire natural en patios de secado, para que el empleo de este método sea eficiente, dependerá de la manera en que se apile la madera, ya que un óptimo apilado generará la circulación libre del aire en torno a cada pieza. La madera que recientemente paso por un proceso de aserrado no deberá exponerse de manera directa al sol ya que esto producirá grietas en la pieza o tablón de madera. [20]



Figura 20. Secado natural de madera.

Fuente: Autoría Propia

b) Secado artificial: Este método consiste en eliminar el contenido de de agua de la madera empleando hornos eléctricos, un horno secará la madera a un contenido de humedad previsto en un menor tiempo y sin generar cambios en la misma. [20]



Figura 21. Cámara de secado.

Fuente: Autoría Propia

1.3.9. El capulí

El capulí es una especie de árbol que produce frutos una vez al año, es originaria de Norte América, aunque también se la considera endémica de Ecuador, México y Perú. Es una especie que se encuentra distribuida a lo largo del callejón interandino, típico de las provincias de Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi.

Los nombres comunes con los que se conoce el capulí son: capulí delgado, capulí gruesos usun, capulí y chaucha. [29]



Figura 22. Árbol de Capulí

Fuente: Autoría Propia

1.3.9.1. Clasificación taxonómica

En nuestro país el nombre científico del capulí recibe la denominación de “*Prunus serótina* subsp. *capulí* (Cav)”. [30]

El nombre científico del capulí también se puede encontrar con los siguientes sinónimos: *Prunus serótina* Ehrh, *Prunus salicifolia* Kunth, *Prunus serótina* var. *Salicifolia* (Kunth) Koehne y *Cerasus longifolius* Nutt. Ex Torr. & A. Gray. [29]

Tabla 12. Clasificación Taxonómica del Capulí

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	
REINO	Plantae
DIVISIÓN	Magnoliophyta
CLASE	Magnoliopsida
ORDEN	Rosales
FAMILIA	Rosaceae
SUBFAMILIA	Prunuideae
GÉNERO	Prunus
SUBGÉNERO	Padus
ESPECIE	P. Serotina

Fuente: [30]

1.3.9.2.Descripción botánica

En nuestro país la especie se representa como un árbol monopodico o planta leñosa, que pueden llegar a medir de 5 a 15 m de altura, el árbol puede llegar a medir hasta 38 m, su corteza externa posee un color café oscuro mientras que la corteza interna presenta un color blanquecino, en sus racimos se encuentran las flores son numerosas y pequeñas, y poseen un color blanco, y sus frutos son de color negro. El tronco del árbol en boques es largo y recto, pero en sitios claros es corto y ancho. La raíz crece de manera rápida y ocupa 60 cm del suelo. [31]

1.3.9.3.Aspectos fisiológicos

La especie de estudio es de moderado a rápido crecimiento, el árbol vie de 40 a 60 años. Las plántulas en el periodo de 30 días crecen de 5 a 10 cm, pero bajo condiciones de sombra en un periodo de 3 a 4 años, crecen 15 cm. La producción de hojas, frutos y madera empieza cuando el árbol llega a la edad de 5 años. [31]

1.3.9.4. Usos del capulí

Los usos que se le atribuyen a él capulí son varios, los mismos se detallan a continuación.

Tabla 13. Usos del capulí

COMBUSTIBLE	Leña y carbón
COMESTIBLE	El fruto se consume crudo o en lata (mermelada).
CONSTRUCCIÓN	La madera es empleada en construcciones rurales.
ESTIMULANTE	El fruto fermentado es empleado en la fabricación de bebidas alcohólicas.
INDUSTRIALIZABLE	La semilla es utilizada en la fabricación de jabones y pinturas ya que contiene aceite semisecante en un porcentaje del 40%.
MADERABLE	La madera es utilizada en ebanistería, es fácil de labrarse y posee un bello pulimento.
MEDICINAL	El fruto en jarabe se emplea para problemas respiratorios y la corteza se usa para problemas de digestión.
INSECTICIDA	Las hojas y corteza del árbol son tóxicas.

Fuente: [31]

1.3.9.5. Madera de capulí

Se caracteriza como una madera útil, de rápido crecimiento, la misma que se produce en tierras pobres, con un costo de producción bajo, lo que la hace idónea para la reforestación. La madera es dura, resistente a insectos y hongos, las ramas jóvenes son suaves y fuertes. Años más tarde de ser cultivada, la madera es útil para asas de herramientas, postes, y carbón de leña, así mismo rinde maderas rojizas después de 6 a 8 años, las mismas que son utilizadas para la fabricación de guitarras, mobiliario, ataúdes. [32]

1.3.9.6.Densidad básica

Según Aylas [40] , la densidad básica del Capulí es de 0.68 gr/cm^3 , al igual que Alejandro Taquire y Paula Carrión [41], que mencionan que la densidad básica de *Prunus serótina* es de 0.64 gr/cm^3 .

1.3.9.7.Distribución en el Ecuador

En nuestro país está presente en el callejón interandino, distribuidos desde la provincia del Carchi en la parroquia Caramelo hasta limite norte del país vecino Colombia, hasta la provincia de Loja. El capulí se distribuye entre los 2400 a 3900 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), en un mayor porcentaje en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, continuo de Bolívar, Cañar y Azuay y finalmente se observa una disminución de ejemplares en la provincia de Loja, cantón Saraguro. [33]

1.3.9.8.Cultivo

El capulí es un árbol que se sitúa sobre pendientes pronunciadas, es intolerante a la sombra, pero se considera pionera en crecimiento en sitios claros, desarrollándose generalmente en torno a bosques y zonas de cultivo de frutas, adecuándose al sitio de una manera óptima después de alteraciones que produce el fuego y tala.

Los cultivos de capulí poseen características purificadoras de aire, retienen el agua, y evitan la erosión del suelo. [33]

El capulí es considerado un árbol silvestre y en la actualidad no es estimado como una especie de árbol cultivable, el mismo tolera de una manera óptima la poda, y posee baja necesidad de riego. [31]

Actualmente, en nuestro país no se encuentra cultivos de gran extensión, sin embargo, se sitúan en todas las provincias pertenecientes a la región sierra, con mayor producción en la provincia de Tungurahua. [34]



Figura 23. Cultivo de capulí ubicado en la Parroquia Santa Rosa.

Fuente: Autoría Propia

1.3.9.9.Siembra y cosecha

Para sembrar en primera instancia se debe colocar las semillas de capulí en un recipiente con agua caliente, las mismas estarán en reposo en el recipiente por un lapso de 24 horas. Una vez culminado el lapso, las semillas se siembran en un vivero a 3 cm de profundidad, cuando las plántulas sobrepasen los 20 cm se realizará el traspaso a el lugar específico donde terminara su proceso de siembra. [32]

En circunstancias naturales la semilla tarda en germinar en el primero o segundo año, sin embargo, en laboratorios tardan en germinar 14 días con temperaturas que varían de 18 a 22 ° C. [31]

La época de siembra se da en los meses de septiembre y noviembre, preferentemente en climas fríos, los cuidados que prevalecen en la etapa de siembra es sol y riego ligero. [35]

La cosecha se da en los meses de noviembre hasta el mes de febrero, los árboles de capulí generan una óptima cosecha en intervalos de tiempo de 1 a 5 años. [31]

1.3.9.10. Condiciones climáticas de desarrollo

a) Temperatura: El capulí demuestra una alta adaptación a la exposición de variaciones meteorológicas tales como el frío, calor y humedad. En la sierra norte se

registra una temperatura media de 16°C a 20°C y en la sierra centro y sur 13°C a 14°C. [33]

b) Suelo: El capulí se produce en suelos pobres, suelos arcillosos y con mayor adaptación en tierras arenosas secas, y no crece en áreas húmedas. [32]

c) Pluviosidad: Los árboles de capulí se distribuyen con precipitaciones entre 600 mm a 1000 mm en la provincia de Carchi, Imbabura y Pichincha, y 500 mm en la provincia de Tungurahua, su consumo anual de agua varía entre 2500 a 4000 m³ por ha. [33]

d) Altitud: El árbol crece de manera arbustiva hasta los 3900 m.s.n.m. [33]

1.3.10. Ensayos

1.3.10.1. Ensayo de resistencia a la flexión de la madera

Este ensayo se realizará en base a las especificaciones de la normativa ASTM D143, el mismo que reside en la aplicación de cargas en la pieza de madera.



Figura 24. Ensayo de resistencia a la flexión de la madera

Fuente: [36]

a) Tamaño de la probeta: La normativa ASTM D143 nos menciona dos tipos de probetas, una probeta primaria cuyas dimensiones serán de 2 x 2 x 30 in o 50 x 50 x 760 mm y una secundaria de 25 x 25 x 410 mm o 1 x 1 x 16 in. [37]

b) Cargas y velocidad de carga: Para el ensayo primario la probeta estará apoyada a 710 mm, donde se aplicará una carga de 890 N a una velocidad de 2.5 mm/min, mientras que, en el ensayo secundario la probeta estará apoyada a una distancia libre

de 360 mm, donde se aplicará una carga de 220 N a una velocidad de 1.3 mm/min. [37]

c) Fallas de deflexión estática: Las cargas serán aplicadas por la maquina universal, en el instante donde se aplique la carga se espera obtener fallas, para ello se realizará una comparación visual para determinar a qué tipo de falla corresponde. Las fallas que menciona la normativa son: a) Tensión simple, b) Tensión transversal, c) Tensión astillada d) Tensión abrupta, e) Compresión y f) Corte horizontal. [37]

Tabla 14. Especificaciones del Ensayo de resistencia a flexión de la Madera.

NORMATIVA ASTM D143			
ESPECIFICACIÓN	ENSAYO I	ENSAYO II	UNIDAD
PROBETA	50 x 50 x 760	25 x 25 x 410	mm
DISTANCIA DE APOYO	710	360	mm
CARGA	890	220	N
VELOCIDAD DE CARGA	2.5	1.3	mm/min

Fuente: [37]

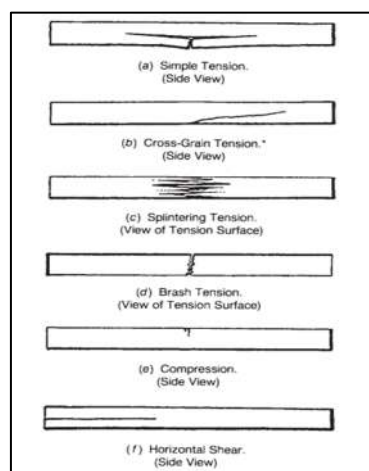


Figura 25. Tipos de falla en flexión estática

Fuente: [37]

1.3.10.2. Ensayo de resistencia a la tracción de la madera

Este ensayo se realizará en base a las especificaciones de la normativa ASTM D143, el mismo que reside en la aplicación sobre la barra de madera, el ensayo se realizará a tracción paralela a la fibra.

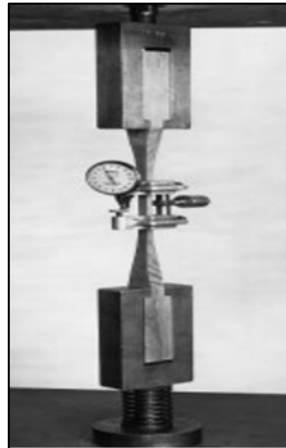


Figura 26. Ensayo a tensión paralela.

Fuente: [37]

a) Tamaño de la probeta: Las dimensiones de la probeta para determinar la tensión paralela a la fibra están especificadas en la figura 15.

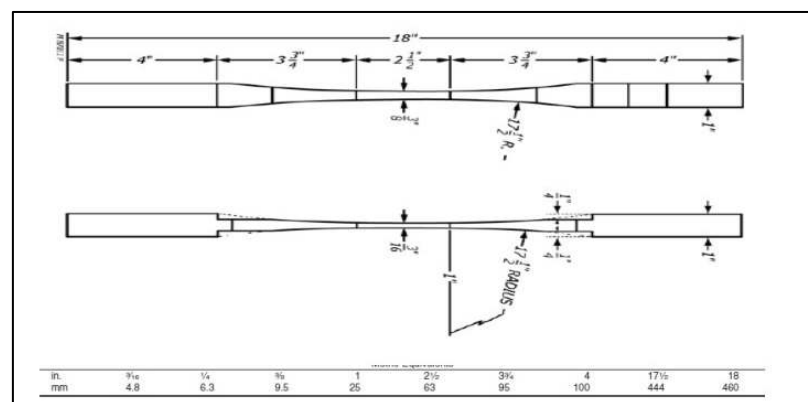


Figura 27. Dimensiones de la probeta para cargas a tracción.

Fuente: [37]

b) Carga y velocidad de prueba: La velocidad se especificará según la carga aplicada, esta carga será aplicada de manera continua, después de 1 minuto la muestra empezará a fracturarse, por ende, no debe llegar a su estado de fractura en menos de 10 segundos ni en más de 10 minutos. La velocidad de las mordazas será de 0.05 in/min o 1mm/min.

c) Fallas de tracción: Las fallas se catalogan según la apariencia de la superficie del material y de la forma de fractura de estos, se clasifican en superficies descascaradas y fibrosas, como: a) Tensión cortes limpios, b) Combinados de tensión y corte, c) Tensión cortante y d) Tensión frágil. [37]

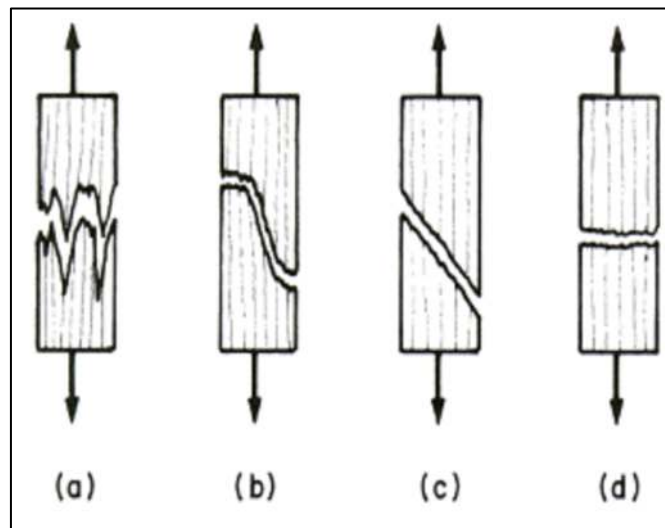


Figura 28.Fallas de Tracción.

Fuente: [37]

Tabla 15.Velocidad de mordazas para el ensayo a tracción de la madera.

NORMA ASTM D143				
VELOCIDAD DE MORDAZAS				
MATERIAL	PARALELO AL GRANO	UNIDAD	PERPENDICULAR AL GRANO	UNIDAD
MADERA	1.00	mm/min	2.5	mm/min

Fuente: Autoría Propia

1.3.11. Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015: Capítulo 8

En la normativa se presentan requerimientos y metodologías las mismas que deberán ser empleadas en el diseño de estructuras. El trabajo experimental se enfoca en el capítulo 8 de la Normativa Ecuatoriana de la Construcción el cual se basa en gran parte a el “Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino”, sin embargo, no existe información clara y concreta sobre la madera de capulí, debido a los requerimientos del trabajo experimental, se consideran los numerales 5.3.2. y 5.3.3. los mismos que mencionan los esfuerzos admisibles y el módulo de elasticidad respectivamente.

A) Esfuerzos admisibles: Los esfuerzos admisibles se exponen en la tabla proporcionada por el manual de diseño de la JUNAC, en la cual constan tres grandes grupos para madera estructural “A”, “B” y “C”, estos valores son válidos para madera estructural. [19]

Tabla 16. Esfuerzos admisibles para la madera (Mpa)

ESFUERZOS ADMISIBLES (Mpa)					
GRUPO	FLEXIÓN	TRACCIÓN PARALELA	COMPRESIÓN PARALELA	COMPRESIÓN PERPENDICULAR	CORTE PARALELO
	<i>fm</i>	<i>ft</i>	<i>fc</i>	<i>fcl</i>	<i>fv</i>
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: [19]

b) Módulo de elasticidad: Los valores que se presentan en la tabla se usaran para el dimensionamiento de elementos en flexión, compresión y tracción paralela a la fibra. [19]

Tabla 17. Módulo de elasticidad para la madera (MPa)

MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)		
GRUPO	$E_{min}(E_{0.05})$	$E_{promedio}$
A	9500	13000
B	7500	10000
C	5500	90000

Fuente: [19]

$E_{min}(E_{0.05})$ es el valor mínimo válido para el cálculo de elementos estructurales como vigas y columnas.

$E_{promedio}$ es el valor promedio para un óptimo diseño de elementos en los que se presente una acción de conjunto como viguetas para entablados. [19]

1.4.Hipótesis

Según el análisis de las propiedades mecánicas tracción paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra de la madera de capulí, proveniente de la provincia de Tungurahua, esta puede ser empleada como material estructural de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015).

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1.ENFOQUE

El enfoque que presenta el trabajo experimental es de tipo cuantitativo y cualitativo ya que se fundamenta en el análisis de datos que se determinaran por medio de ensayos para establecer la factibilidad estructural de la madera de capulí, determinando las propiedades mecánicas, tracción paralela a la fibra y flexión perpendicular, en base a la correcta estructuración de la madera siguiendo las especificaciones establecidas en normativas internacionales con el fin de conseguir resultados viables y confiables.

2.2.MÉTODOS (modalidad de investigación)

2.2.1. De campo

El proyecto se rige a la modalidad de investigación de campo, ya que para la obtención de la madera será indispensable acudir a los diferentes cantones de la provincia de Tungurahua para así obtener las piezas o troncos de madera localizadas en puntos específicos y posterior elaborar las probetas con las especificaciones de la normativa internacional ASTM D143-94.

2.2.2. Bibliográfico Documental

Se empleará la modalidad bibliográfica documental porque será importante acudir a libros, revistas, artículos, publicaciones, normativas y fichas técnicas, para conseguir la información necesaria e indispensable para la elaboración del trabajo experimental con el fin de obtener una correcta elaboración de las probetas de madera y el procedimiento adecuado de los ensayos respectivos.

2.2.3. Experimental

Se desarrollará la modalidad experimental que ya se realizará ensayos en la madera siguiendo las especificaciones de la normativa internacional ASTM D143-94.

2.3.NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.3.1. Investigación Exploratoria

Se empleará la investigación exploratoria ya que se realizará recorridos por los diferentes boscajes y depósitos de madera pertenecientes a los diferentes cantones de la provincia de Tungurahua. Se visitará los bosques con el objetivo de observar la

cosecha y cultivo del capulí, y en los diferentes depósitos de madera se observará las condiciones de producción de dicha madera.

2.3.2. Investigación Experimental

Se empleará la investigación experimental ya que el proyecto se basa en un análisis para comprobar u objetar una hipótesis, la cual reside en determinar la factibilidad estructural de la madera de capulí.

2.3.3. Investigación de Laboratorio

Se empleará la investigación de laboratorio ya que para la realización del proyecto se utilizará los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato para la determinación del contenido de humedad de las muestras de la madera de capulí y los ensayos de flexión perpendicular y tracción paralela a la fibra.

2.3.4. Investigación Aplicada

Por medio de este nivel investigativo, el trabajo de titulación tiene el fin de establecer y proporcionar información sobre las propiedades mecánicas de la madera de la madera de capulí; flexión perpendicular a la fibra y tracción paralela. Además, busca introducir información valida y veraz de la madera de capulí en el sector de la construcción ya que su empleo en la actualidad es nulo.

2.4.Población y Muestra

2.4.1. Población

La población serán los diferentes depósitos de madera de cada uno de los cantones que conforman la provincia de Tungurahua, donde se logró obtener la madera de capulí ya que su uso y empleo es poco común debido a la inexistente información para su empleo en el ámbito constructivo.

Para el presente proyecto experimental se realizará la identificación y sectorización de cada uno de los puntos donde se conseguirá la madera de capulí, para ello se realizará una visita de campo es decir se recorrerá cada uno de los cantones, y se tomará su respectiva coordenada geográfica.

Una vez obtenido los puntos específicos con sus respectivas coordenadas geográficas, se realizó la recolección de especímenes en los puntos transcendentales ubicados en los diferentes cantones de la provincia de Tungurahua.

Tabla 18. Datos de georreferenciación de los depósitos de madera

DATOS DE GEORREFERENCIACIÓN			
COORDENADAS PROYECTADAS UTM ZONA			
17 S – DATUM WGS84			
CANTÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
Ambato	9858381.00 m S	759968.00 m E	3024 m
Cevallos	9849775.68 m S	765524.28 m E	2891 m
Mocha	9842687.93 m S	760100.03 m E	3259 m
Pelileo	9855765.00 m S	766861.00 m E	2731 m
Quero	9847778.62 m S	766332.94 m E	2922 m
Santiago de Píllaro	9869964.54 m S	771625.47 m E	2750 m
Tisaleo	9851065.40 m S	759680.97 m E	3213 m

Fuente: Autoría Propia



Figura 29. Depósito de madera y mueblería El “Riksilla”

Fuente: Autoría Propia

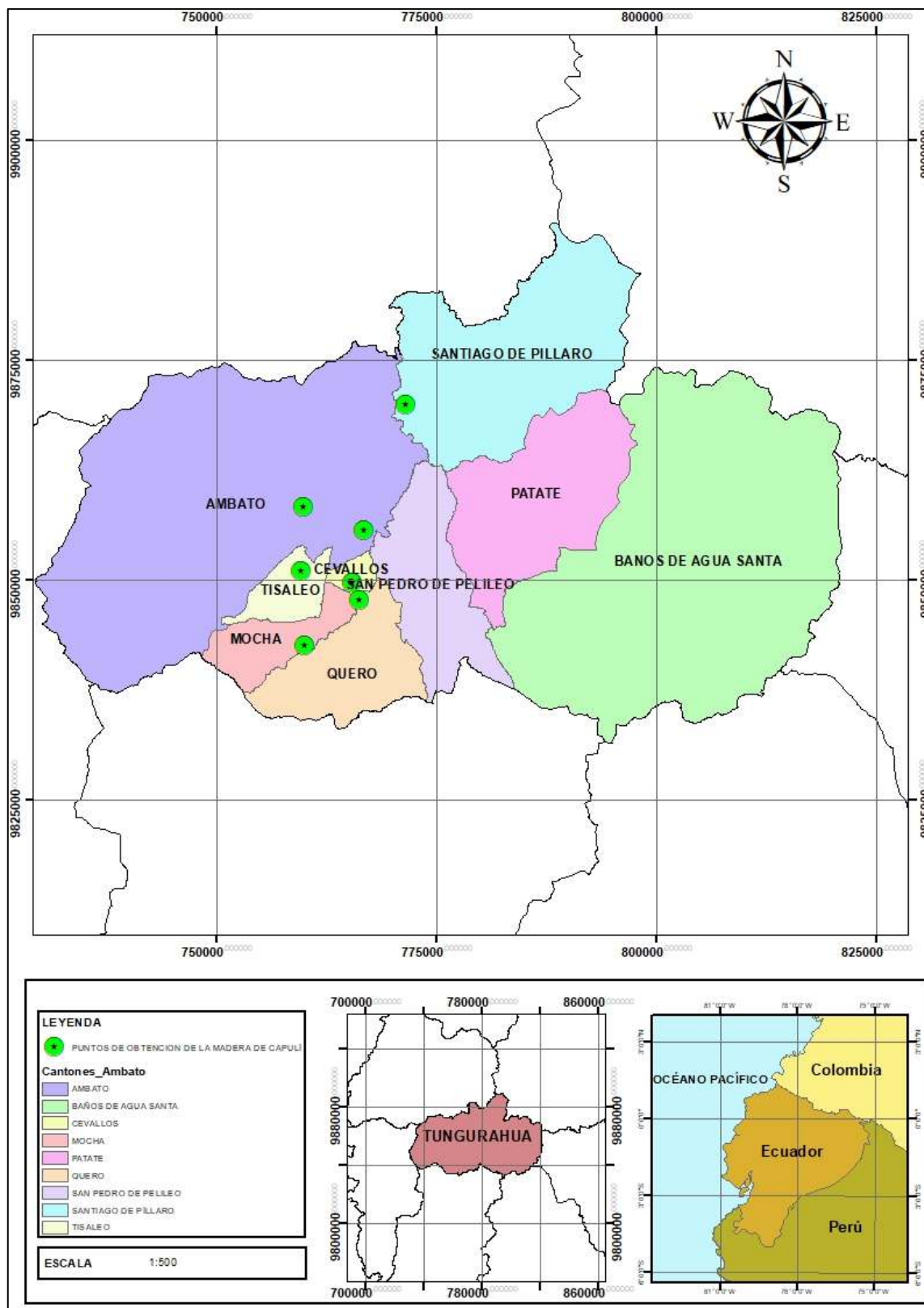


Figura 30. Puntos de obtención de la madera de capulí.

Fuente: Autoría Propia

Debido a la escasa información que existe del empleo de la madera de capulí en el sector de la construcción, se realizó una serie de preguntas a los propietarios de cada uno de los depósitos de madera donde se consiguió la madera de capulí, la entrevista que se ejecutó consta de las siguientes preguntas:

1. ¿De qué cantones se obtiene la madera de capulí?
2. ¿Cuál es el uso que se le da a la madera de capulí?
3. ¿Qué tan frecuente es la compra de un tablón de madera de capulí?
4. ¿Usted considera según su experiencia que la madera de capulí puede ser considerada como una madera dura o blanda?
5. ¿Cuál es el precio que tiene un tablón de madera de capulí?

Los depósitos de madera localizados en cada uno de los cantones pertenecientes a la provincia de Tungurahua obtienen la madera de su misma localidad, y en raras ocasiones de la provincia de Cotopaxi.

Los usos que tiene la madera de capulí según la consultoría son: decoración de interiores, construcción de muebles, fabricación de guitarras debido a la calidad del sonido que adopta la madera y leña.

Tabla 19. Usos de la madera de capulí

CANTÓN	NOMBRE DEL DEPÓSITO DE MADERA	USO
Ambato	Depósito de madera y mueblería Aldás	Construcción de Guitarras
Cevallos	Madera Cáceres E Hijos	Construcción de Guitarras
Mocha	Depósito Mocha	Leña para hornos
Pelileo	Depósito de madera y mueblería El “Riksilla”	Construcción de mobiliario
Quero	Depósito de madera Bertha Aguas	Leña para hornos

Santiago de Pillaro	The Big Castor	Construcción de mobiliario
Tisaleo	Depósito Guerrero	Construcción de Guitarras

Fuente: Autoría Propia

La madera de capulí ofertada en cada uno de los depósitos se comercializa en menor frecuencia ya que el uso de esta en la mayoría de la población es desconocido, debido a que la mayoría de la población de Tungurahua tiene el conocimiento que del árbol del capulí solo se obtiene frutos, los mismos que se adquieren entre los meses de noviembre y febrero.

Así mismo, se deduce que la madera de capulí según la experiencia de los arbolistas es considerada una madera dura similar a la madera de eucalipto.

El precio de la madera de capulí que ofertan cada uno de los depósitos localizados en los cantones de la provincia de Tungurahua, se exponen a continuación:

Tabla 20. Precios de las piezas de madera de capulí.

CANTÓN	DIMENSIÓN	PRECIO
Ambato	240 cm x 23 cm x 5 cm	\$10.00
Cevallos	240 cm x 23 cm x 5 cm	\$12.00
Mocha	240 cm x 23 cm x 5 cm	\$12.00
Pelileo	240 cm x 23 cm x 5 cm	\$10.00
Quero	240 cm x 23 cm x 5 cm	\$12.00
Santiago de Pillaro	240 cm x 23 cm x 5 cm	\$12.00
Tisaleo	240 cm x 23 cm x 5 cm	\$15.00

Fuente: Autoría Propia

2.4.2. Muestra

El muestreo del presente proyecto de titulación serán las 12 probetas que se elaborarán por cantón de la madera de capulí, donde 6 probetas serán destinadas para el ensayo de flexión perpendicular a la fibra y los 6 restantes para el ensayo de tracción paralela a la fibra, la elaboración de probetas se regirá a la normativa internacional ASTM D143-94.

Tabla 21. Número de probetas a flexión perpendicular a la fibra

N.- DE PROBETAS A EMPLEARSE EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA			
N.-	CANTÓN	N.- DE PROBETAS	NORMATIVA
1	Ambato	6	ASTM D143-94
2	Cevallos	6	
3	Mocha	6	
4	Pelileo	6	
5	Quero	6	
6	Santiago de Píllaro	6	
7	Tisaleo	6	
Total			42

Fuente: Autoría Propia

Tabla 22. Número de probetas a tracción paralela a la fibra

N.- DE PROBETAS A EMPLEARSE EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA			
N.-	CANTÓN	N.- DE PROBETAS	NORMATIVA
1	Ambato	6	ASTM D143-94
2	Cevallos	6	
3	Mocha	6	
4	Pelileo	6	

5	Quero	6	
6	Santiago de Píllaro	6	
7	Tisaleo	6	
Total			42

Fuente: Autoría Propia

2.5. Materiales y equipos

2.5.1. Materiales

Los materiales que se emplean en el presente trabajo de titulación son:

- Probetas a flexión



Figura 31. Probetas a flexión

Fuente: Autoría Propia

- Probetas a tracción









Figura 32. Probetas a tracción

Fuente: Autoría Propia

2.5.2. Equipos

Tabla 23. Equipos

Equipo	Marca	Modelo	Imagen
Máquina de compresión	SHIMADZU	2000X	
Máquina Universal para ensayos a tracción	Tinius Olsen	70 – C0820/CZ	
Balanza electrónica	Sartorius	-	
Horno eléctrico	-	-	

			
Flexómetro	BELLOTA	50030-5 MTX	
Calibrador Digital	STAINLESS HARDENED	ET-50	

Fuente: Autoría Propia

2.6.Métodos

2.6.1. Plan de Recolección de Información

Tabla 24. Plan de Recolección de Datos

PREGUNTAS ELEMENTALES	EXPLANACIÓN
1. ¿Para qué?	Para suministrar información verificable sobre la madera de capulí y su factibilidad como material estructural, para que pueda emplearse como elemento estructural en los diferentes proyectos estructurales del país.

2. ¿De qué individuos u objetos?	De probetas de madera de capulí fabricadas según las especificaciones de la normativa internacional ASTM D143-94.
3.Sobre qué aspectos?	En cuanto a las propiedades mecánicas de la madera de capulí: tracción paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra.
4.Quien?	Aldas Ramos Daysi Eliana
5.Cuando?	Las visitas de campo a los diferentes boscajes y depósitos de madera se realizaron del 20 de Abril al 20 de Julio, la elaboración de probetas se realizó del 20 de Julio al 20 de Septiembre, los ensayos físicos y mecánicos se realizaron desde el 5 de Agosto hasta el 5 de Septiembre y la recopilación de investigación con su respectivo análisis de datos desde el 20 de Septiembre al 20 de Diciembre.
6.Donde?	En los depósitos de madera pertenecientes a los diferentes cantones de la provincia de Tungurahua: Ambato, Cevallos, Mocha, Pelileo, Quero, Santiago de Pillaro y Tisaleo, en el Aserrado Aldas donde se elaboraron las probetas a emplearse en los ensayos y en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato.

<p>7.Cómo?</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Mediante vistas de campo a los depósitos de madera pertenecientes a cada cantón de la provincia de Tungurahua. -Por medio de ensayos mecánicos: ensayo de flexión perpendicular a la fibra de madera y ensayo de tracción paralela a la fibra de madera. -Mediante indagación bibliográfica. -Mediante normativas: ASTM D143-94 , ASTM D198, NEC-SE-MD (2015), Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, y NTE INEN 896:2013.
-----------------------	---

Fuente: Autoría Propia

2.7.Proceso

2.7.1. Elaboración de probetas

Para la elaboración de probetas nos regiremos a la normativa internacional ASTM D143-94, la misma que recomienda el empleo de piezas uniforme de sección homogénea libre de cualquier tipo de defecto para que los resultados sean más fiables y representativos, este documento especifica que el número de probetas debe ser entre 5 y 10 : para nuestro trabajo experimental se elaboró 6 probetas para los ensayos de flexión perpendicular a la fibra y 6 para los ensayos de tracción paralela a la fibra, con el fin de reducir costos y tener una confiabilidad aceptable en los resultados de los ensayos que se van a realizar.

2.7.1.1.Dimensiones de probetas para el ensayo de resistencia a flexión

Las dimensiones que se adoptó en las piezas de madera para el trabajo experimental rigiéndonos a la normativa internacional ASTM D143-94 es de 25 x 25 x 410 mm para el ensayo de resistencia a flexión perpendicular a la fibra.

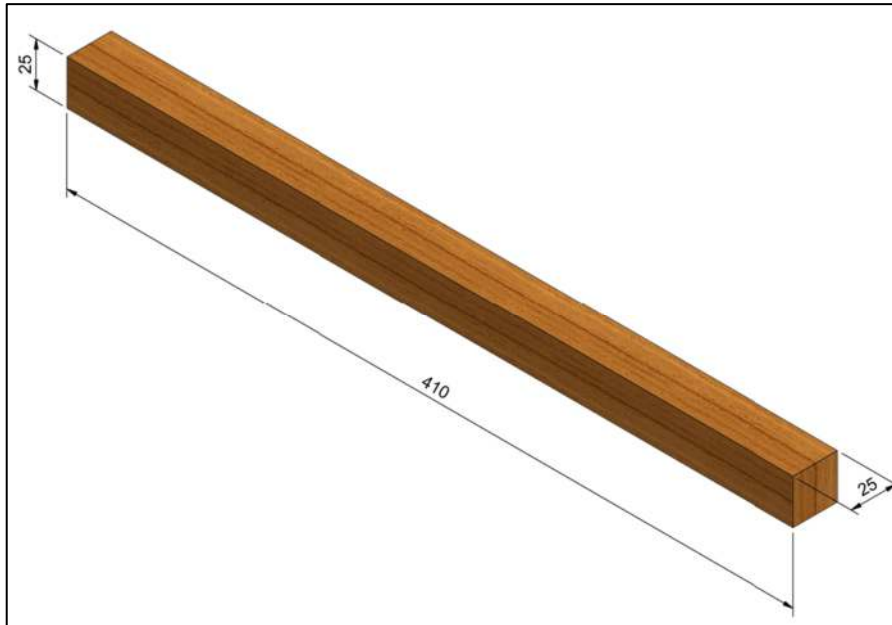


Figura 33. Dimensiones de la probeta para el ensayo de resistencia a flexión

Fuente: Autoría Propia

2.7.1.2. Procedimiento de fabricación de probetas

Una vez obtenido los troncos o tablones de madera de capulí secos en un proceso de secado natural, se siguió el procedimiento que se detalla a continuación para obtener las probetas con las medidas requeridas.

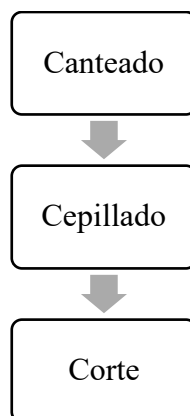


Figura 34. Proceso de fabricación de probetas a flexión

Fuente: Autoría Propia

1. Canteado: Se paso los tablonos de madera por la maquina canteadora, con el objetivo primordial de eliminar cualquier curva que se generó de manera natural en el proceso de secado, es decir se aplano la superficie de madera.



Figura 35. Canteado de tablonos de madera de capulí

Fuente: Autoría Propia

2. Cepillado: Una vez efectuado el proceso de canteado se llevó a la madera a un proceso de cepillado empleado la maquina cepilladora conocida también como labrante, con el fin de alisar la superficie de madera.
3. Corte: Se llevo los tablonos a un proceso de corte con el empleo de la sierra se obtuvo las probetas de madera con las medidas requeridas por la normativa.



Figura 36. Corte de probetas

Fuente: Autoría Propia

2.7.1.3. Caracterización de probetas para el ensayo de resistencia a flexión para cada cantón

Una vez elaboradas las probetas se identificó a cada una de ellas según el ensayo y el cantón al que pertenecen colocando en cada una su código distintivo el mismo que se expone en la siguiente tabla.

Tabla 25. Caracterización de probetas a flexión

CANTÓN	N.- DE PROBETA	CÓDIGO
AMBATO	1	FA1
	2	FA2
	3	FA3
	4	FA4
	5	FA5
	6	FA6
CEVALLOS	1	FC1
	2	FC2
	3	FC3
	4	FC4
	5	FC5
	6	FC6
MOCHA	1	FM1
	2	FM2
	3	FM3
	4	FM4
	5	FM5
	6	FM6
PELILEO	1	FP1
	2	FP2
	3	FP3
	4	FP4
	5	FP5
	6	FP6
QUERO	1	FQ1
	2	FQ2
	3	FQ3
	4	FQ4
	5	FQ5

	6	FQ6
SANTIAGO DE PÍLLARO	1	FS1
	2	FS2
	3	FS3
	4	FS4
	5	FS5
	6	FS6
TISALEO	1	FT1
	2	FT2
	3	FT3
	4	FT4
	5	FT5
	6	FT6

Fuente: Autoría Propia

2.7.1.4. Dimensiones de probetas para el ensayo de resistencia a tracción

Las dimensiones que se adoptará en las piezas de madera para el trabajo experimental rigiéndonos a la normativa internacional ASTM D143-94 es de 25 x 25 x 410 mm para el ensayo de resistencia a tracción paralela a la fibra.

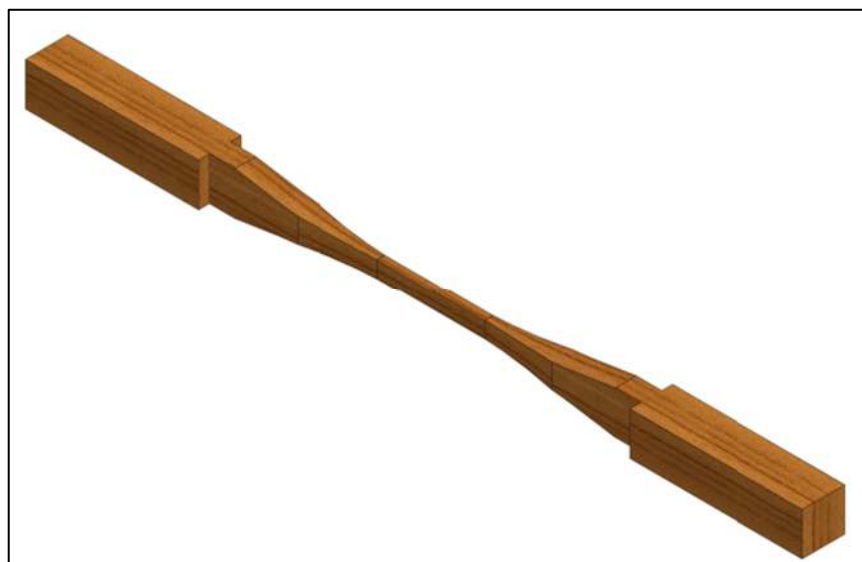


Figura 37. Probeta para el ensayo de resistencia a tracción

Fuente: Autoría Propia

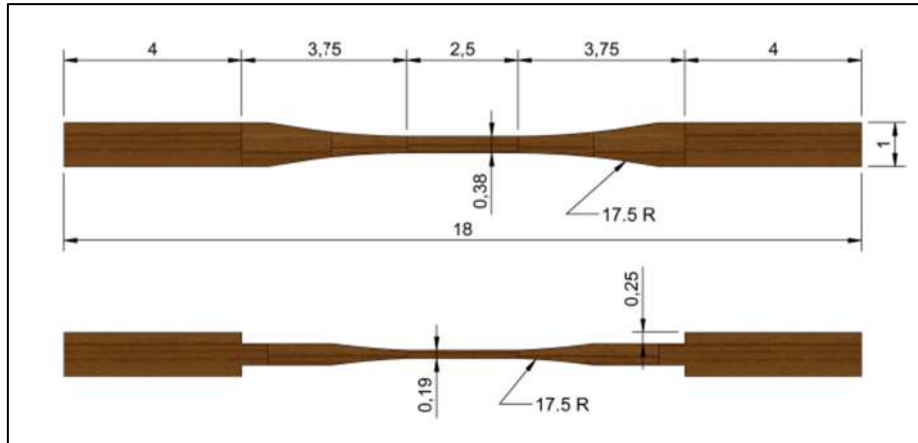


Figura 38. Dimensiones en pulgadas (in) de la probeta para el ensayo de resistencia a tracción

Fuente: Autoría Propia

2.7.1.5. Procedimiento de fabricación de probetas

Una vez efectuado el proceso de canteado, cepillado y corte, se efectuó el siguiente procedimiento.

Moldeado: Se realizó moldes con las medidas respectivas para las probetas en una tabla triplex de 3.2 mm con el objetivo de que sirvan de guía para la elaboración de las probetas a tracción.



Figura 39. Elaboración de moldes

Fuente: Autoría Propia

Modificación de perfil: Una vez realizados los moldes, se acoplo a las piezas de madera y posterior a ello se llevó la pieza de madera a la maquina tupí para generar las curvaturas que posee la probeta.

Ranuras: Con el empleo de la sierra se elaboró las ranuras que posee la probeta de madera.



Figura 40. Elaboración de ranuras

Fuente: Autoría Propia

Lijado: Se lijó las probetas de madera con el empleo de lijas N.- 50 y 80 con el fin de alisar la superficie de esta.



Figura 41 . Pulido de probeta

Fuente: Autoría Propia

2.7.1.6. Caracterización de probetas para el ensayo de resistencia a tracción para cada cantón

Una vez elaboradas las probetas se identificará a cada una de ellas según en ensayo y el cantón al que pertenecen colocando en cada una su código distintivo el mismo que se expone en la siguiente tabla.

Tabla 26. Caracterización de probetas a tracción

CANTÓN	N.- DE PROBETA	CODIGO
AMBATO	1	TA1
	2	TA2
	3	TA3
	4	TA4
	5	TA5
	6	TA6
CEVALLOS	1	TC1
	2	TC2
	3	TC3
	4	TC4
	5	TC5
	6	TC6
MOCHA	1	TM1
	2	TM2
	3	TM3
	4	TM4
	5	TM5
	6	TM6
PELILEO	1	TP1
	2	TP2
	3	TP3
	4	TP4
	5	TP5
	6	TP6
QUERO	1	TQ1
	2	TQ2
	3	TQ3
	4	TQ4
	5	TQ5
	6	TQ6

SANTIAGO DE PÍLLARO	1	TS1
	2	TS2
	3	TS3
	4	TS4
	5	TS5
	6	TS6
TISALEO	1	TT1
	2	TT2
	3	TT3
	4	TT4
	5	TT5
	6	TT6

Fuente: Autoría Propia

2.7.2. Ensayos

Para el trabajo de titulación se realizarán tres ensayos: contenido de humedad, flexión perpendicular a la fibra de madera y tracción paralela a la fibra de madera.

2.7.2.1. Ensayo Físico

2.7.2.1.1. Contenido de humedad

Para el procedimiento de obtención del contenido de humedad nos regimos a la norma NTE INEN 896:2013.

El procedimiento que se empleó para determinar el contenido de humedad es el siguiente:

1. Encerrar la balanza.
2. Pesar y registrar la masa húmeda de cada uno de los especímenes de madera, la masa húmeda deberá ser mínimo de 20g.
3. Colocar los recipientes con la muestra húmeda en el horno eléctrico a una temperatura de $103 \pm 3^{\circ}\text{C}$, las muestras deberán permanecer a esta temperatura por lo menos 20 horas, aunque en los ensayos prácticos las muestras pueden permanecer hasta 24 horas.
4. Retirar las muestras del horno y pesar los recipientes con la muestra de madera seca o anhidra.

Una vez realizado el ensayo y determinado el peso húmedo y peso anhidro debemos seguir la siguiente fórmula estipulada en la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015) Código NEC-SE-MD, para determinar así el contenido de humedad de cada una de las muestras.

El contenido de humedad se determina mediante la siguiente fórmula de cálculo:

$$H = \frac{P - P_{sh}}{P_{sh}} \times 100$$

Donde:

$H =$ Contenido de humedad (%)

$P_h =$ Masa original de la muestra (gr)

$P_s =$ Masa de la muestra anhidra (gr)

- Cálculo típico

Humedad verde del cantón Cevallos Muestra 1

$$H = \frac{P - P_{sh}}{P_{sh}} \times 100$$

$$H = \frac{54.01 \text{ gr} - 26.09 \text{ gr}}{26.09 \text{ gr}} \times 100$$

$$H = 107.01 \%$$

Humedad verde del cantón Mocha Muestra 2

$$H = \frac{P - P_{sh}}{P_{sh}} \times 100$$

$$H = \frac{124.75 \text{ gr} - 87.23 \text{ gr}}{87.23 \text{ gr}} \times 100$$

$$H = 43.01 \%$$

Humedad seca del cantón Santiago de Píllaro Muestra 4

$$H = \frac{P - P_{sh}}{P_{sh}} \times 100$$

$$H = \frac{61.39 \text{ gr} - 52.15 \text{ gr}}{52.15 \text{ gr}} \times 100$$

$$H = 17.72 \%$$

Humedad seca del cantón Ambato Muestra 4

$$H = \frac{P - P_{sh}}{P_{sh}} \times 100$$

$$H = \frac{71.29 \text{ gr} - 62.86 \text{ gr}}{62.86 \text{ gr}} \times 100$$

$$H = 13.41 \%$$

2.7.2.2. Ensayo Mecánico

2.7.2.2.1. Ensayo a flexión perpendicular a la fibra de la madera

El procedimiento que se efectuó para la ejecución del ensayo a flexión perpendicular a la fibra de la madera es:

1. Encender la máquina de compresión SHIMADZU 2000X y esperar 15 minutos para que alcance su óptima calibración.
2. Verificar que todas las probetas cumplan las dimensiones que se establecen en la normativa con el empleo de un calibrador digital con una precisión de ± 0.02 mm / 0.001 in.



Figura 42. Verificación de medidas

Fuente: Autoría Propia

3. Establecer los parámetros de ensayo, alineando el programa según el tipo de material, dimensiones de muestra, separación de apoyos y velocidad de ensayo.
4. Una vez configurado el tipo de ensayo, seleccionar el mismo.

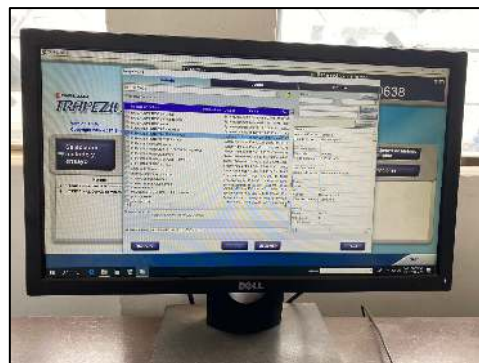


Figura 43. Selección del método de ensayo

Fuente: Autoría Propia

5. Colocar dos puntales de reacción enfilados y separados por una distancia libre de 360 mm.
6. Situar la probeta en los puntales y aplicar el bloque de carga en el medio del vano.



Figura 44. Aplicación del bloque de carga

Fuente: Autoría Propia

7. Encerrar esfuerzos y deformaciones y dar inicio al ensayo, se aplicará la carga a una velocidad de 1.3 mm/min.



Figura 45. Aplicación de carga

Fuente: Autoría Propia

8. Una vez que se genera la falla de la probeta, guardar y exportar los datos en formato csv, el mismo que nos permitirá almacenar los datos separados por comas.



Figura 46. Falla generada en la probeta

Fuente: Autoría Propia

2.7.2.2.2. Ensayo a tracción paralela a la fibra de la madera

1. Encender la Máquina Universal para ensayos a tracción Tinius Olsen 70 – C0820/CZ.
2. Verificar las dimensiones de las probetas.
3. Pesar las probetas en la balanza electrónica.



Figura 47. Peso de probetas

Fuente: Autoría Propia

4. Configurar los parámetros del programa como: peso, masa, longitud y área de ensayo, la velocidad que se empleará es de 2 Mpa/min.
5. Situar las mordazas en la maquina universal con la ayuda de los botones de mando y colocar las probetas de madera dentro de las mismas.



Figura 48. Colocación de probetas

Fuente: Autoría Propia

6. Encerrar los esfuerzos y dar inicio al ensayo, la carga se aplicará de forma continua.
7. Verificar que la probeta al momento de aplicar carga no llegue a su estado de fractura en menos de 10 segundos ni en más de 10 minutos.



Figura 49. Falla a tracción

Fuente: Autoría Propia

8. Guardar y exportar los datos.

2.7.3. Cálculo de las propiedades mecánicas

Para determinar la resistencia a flexión y tracción nos regiremos a la normativa ASTM D198-2015 la misma que establece fórmulas de cálculo.

2.7.3.1. Flexión perpendicular a la fibra de la madera

Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional

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

Dónde:

S' = Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional (Mpa)

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

l = Distancia libre entre apoyos (mm)

b = Ancho del espécimen de flexión (mm)

d = Profundidad del espécimen de flexión (mm)

Módulo de ruptura

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

Dónde:

SR = Módulo de ruptura (Mpa)

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

l = Distancia libre entre apoyos (mm)

b = Ancho del espécimen de flexión (mm)

d = Profundidad del espécimen de flexión (mm)

Módulo de elasticidad aparente

$$E_{app} = \frac{P'l^3}{4bd^3\Delta}$$

Donde:

E_{app} = Módulo de elasticidad aparente (Mpa)

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

l = Distancia libre entre apoyos (mm)

b = Ancho del espécimen de flexión (mm)

d = Profundidad del espécimen de flexión (mm)

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

Esfuerzo admisible

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

Donde:

E_{adm} = Esfuerzo admisible (Mpa)

E_{ult} = Esfuerzo último

$F.C$ = Factor de reducción por calidad

$F.T$ = Factor de reducción por tamaño

$F.S$ = Factor de servicio y seguridad

$F.D.C$ = Factor de duración de carga

Para la determinación del esfuerzo admisible, se considera como esfuerzo ultimo a el módulo de ruptura.

Los factores de reducción que se consideran para el cálculo se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 27. Factores de reducción

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

Fuente: [20]

- Calculo Típico

Probeta FA2

Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional

$$S' = \frac{3 P' l}{2 b d^2}$$
$$S' = \frac{3 (1589.46 N) * (360 mm)}{2(25)(25)^2}$$

$$S' = 54.93 \text{ Mpa}$$

Módulo de ruptura – Resistencia máxima a flexión

$$SR = \frac{3 P_{\text{máx}} l}{2 b d^2}$$
$$SR = \frac{3 (3431.96 N)(360 mm)}{2(25)(25)^2}$$

$$SR = 118.61 \text{ Mpa}$$

Módulo de elasticidad aparente

$$E_{app} = \frac{P' l^3}{4 b d^3 \Delta}$$
$$E_{app} = \frac{(1589.46 N)(360 mm)^3}{4 (25)(25)^3 (4.45 mm)}$$

$$E_{app} = 10665.38 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo admisible

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

$$E_{adm} = \frac{0.8 * 0.9}{2.0 * 1.15} * 118.61 \text{ Mpa}$$

$$E_{adm} = 37.13 \text{ Mpa}$$

Probeta FS2

Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional

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

$$S' = \frac{3 (640.55) * (360 \text{ mm})}{2(25)(25)^2}$$

$$S' = 22.14 \text{ Mpa}$$

Módulo de ruptura – Resistencia máxima a flexión

$$SR = \frac{3 P_{\text{máx}} l}{2 b d^2}$$

$$SR = \frac{3 (1235.64 \text{ N})(360 \text{ mm})}{2(25)(25)^2}$$

$$SR = 42.70 \text{ Mpa}$$

Módulo de elasticidad aparente

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

$$E_{app} = \frac{(640.55 N)(360mm)^3}{4 (25)(25)^3 (3.56 mm)}$$

$$E_{app} = 5372.69 Mpa$$

Esfuerzo admisible

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

$$E_{adm} = \frac{0.8 * 0.9}{2.0 * 1.15} * 42.70 Mpa$$

$$E_{adm} = 13.37 Mpa$$

2.7.3.2. Tracción paralela a la fibra de la madera

Resistencia a la tracción

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

$$\sigma_t = \text{Resistencia a la tracción (Mpa)}$$

$$P_{m\acute{a}x} = \text{Carga máxima soportada en el espécimen (N)}$$

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

En el caso de la madera, la resistencia a la tracción que esta posea es igual a la tensión que se genera en el límite proporcional, esto se debe a que cuando la madera está sometida a esfuerzos de tracción en sentido paralelo a sus fibras, el esfuerzo máximo se genera al llegar al límite proporcional, es decir la rotura se produce al alcanzar dicho límite.

Tensión en el límite proporcional

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

Donde:

σ'_t = Tensión en el límite proporcional (Mpa)

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

A = Área de la sección transversal (mm)

Módulo de elasticidad

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

Donde:

E_{axial} = Módulo de elasticidad (Mpa)

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

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

Esfuerzo admisible

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

Donde:

E_{adm} = Esfuerzo admisible (Mpa)

$F.C$ = Factor de reducción por calidad

$F.T$ = Factor de reducción por tamaño

$F.S$ = Factor de servicio y seguridad

$F.D.C$ = Factor de duración de carga

Para la determinación del esfuerzo admisible, se considera como esfuerzo ultimo a el módulo de ruptura.

Los factores de reducción que se consideran para el cálculo se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 28.Factores de reducción

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

Fuente: [20]

- Calculo Típico
Probeta TA1

Tensión en el límite proporcional

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

$$\sigma'_t = \frac{2438.64 \text{ N}}{46.61 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma'_t = 52.32 \text{ Mpa}$$

Módulo de elasticidad

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

$$E_{axial} = \frac{52.32 \text{ Mpa}}{1.96 \times 10^{-2} \text{ mm/mm}}$$

$$E_{axial} = 2669.42 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo admisible

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

$$E_{adm} = \frac{52.32 \text{ Mpa}}{2.1}$$

$$E_{adm} = 24.91 \text{ Mpa}$$

Probeta TC3

Tensión en el límite proporcional

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

$$\sigma'_t = \frac{2370.90 \text{ N}}{46.61 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma'_t = 50.87 \text{ Mpa}$$

Módulo de elasticidad

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

$$E_{axial} = \frac{50.87 \text{ Mpa}}{5.40 \times 10^{-2} \text{ mm/mm}}$$

$$E_{axial} = 941.99 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo admisible

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

$$E_{adm} = \frac{50.87 \text{ Mpa}}{2.1}$$

$$E_{adm} = 24.22 \text{ Mpa}$$

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis y discusión de resultados que se efectúa en el presente capítulo se basa en los diferentes ensayos físicos y mecánicos que se realizaron a la madera de capulí, la misma que fue obtenida en los depósitos de madera localizados en cada uno de los cantones pertenecientes a la provincia de Tungurahua.

Las técnicas que se emplearon en la madera de capulí determinaron el contenido de humedad en estado verde y seco, y las propiedades mecánicas mediante los ensayos mecánicos de flexión estática y tracción paralela a la fibra de la madera de capulí.

1.1.1. Propiedades Físicas

1.1.1.1. Contenido de humedad verde

Para determinar el contenido de humedad de madera verde, se extrajo 5 muestras de un árbol recién cortado de capulí localizado en diferentes puntos, pertenecientes a los cantones: Ambato, Cevallos, Mocha, Pelileo, Santiago de Píllaro, Quero y Tisaleo, los cuales pertenecen a la provincia de Tungurahua.

Tabla 29. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Ambato

AMBATO			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	51.23	29.41	74.19
2	41.13	22.37	83.86
3	51.23	29.76	72.14
4	47.95	28.13	70.46
5	43.90	23.75	84.84

Fuente: Autoría Propia

Tabla 30 .Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Cevallos

CEVALLOS			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	54.01	26.09	107.01
2	54.90	26.73	105.39
3	56.35	28.09	100.61
4	53.42	25.90	106.25
5	63.83	33.01	93.37

Fuente: Autoría Propia

Tabla 31. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Mocha

MOCHA			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	152.27	99.49	53.05
2	124.75	87.23	43.01
3	140.44	88.92	57.94
4	144.55	96.57	49.68
5	137.26	82.77	65.83

Fuente: Autoría Propia

Tabla 32. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Pelileo

PELILEO			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	121.10	65.98	83.54
2	100.43	52.93	89.74
3	130.80	73.77	77.31
4	97.14	51.24	89.58
5	96.07	51.93	85.00

Fuente: Autoría Propia

Tabla 33. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro

SANTIAGO DE PÍLLARO			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	42.14	21.44	96.55
2	43.55	21.63	101.34
3	41.96	20.81	101.63
4	44.20	22.87	93.27
5	41.51	21.20	95.80

Fuente: Autoría Propia

Tabla 34. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Quero

QUERO			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	39.43	24.59	60.35
2	39.89	23.91	66.83
3	39.18	22.75	72.22
4	34.54	19.83	74.18
5	35.83	20.56	74.27

Fuente: Autoría Propia

Tabla 35. Contenido de humedad verde de la madera de capulí del cantón Tisaleo

TISALEO			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	40.76	22.59	80.43
2	32.61	19.01	71.54
3	34.46	19.48	76.90
4	37.21	20.47	81.78
5	38.83	21.27	82.56

Fuente: Autoría Propia

De acuerdo con los resultados obtenidos en el trabajo investigativo, se puede deducir que la a madera de capulí que se encuentra con un alto contenido de humedad en estado verde es la madera proveniente del cantón Cevallos con 107.01% de humedad, cabe mencionar que el cantón se encuentra a una altitud de 2.882 m.s.n.m. Por otra parte, el menor contenido de humedad se encontró en el cantón Mocha con 43.01% de humedad, el mismo que se encuentra en una altitud de 3280 m.s.n.m.

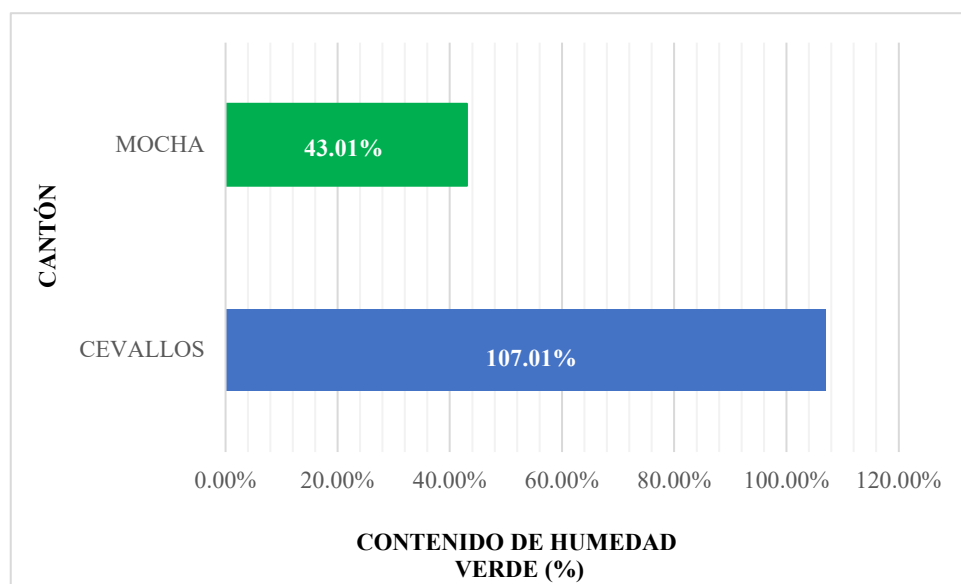


Figura 50. Contenido de humedad verde de la madera de capulí

Fuente: Autoría Propia

Según Enrique Zanni [18], el porcentaje de humedad que contiene un árbol depende de la esbeltez, radio del tronco, edad del árbol, y la temporada del año en la que nos encontremos.

Argueta y Gallardo [38], mencionan en su investigación, que conforme se asciende en altura, es decir a mayor altitud, el árbol de capulí reduce significativamente su tamaño y disipa la capacidad de productividad frutal.

Esto significa que las variaciones que se encontraron en nuestro estudio dependen de los factores mencionados anteriormente. Principalmente, el parámetro más importante que se evidencio en nuestro estudio es la altitud de donde se extrajo la muestra y la esbeltez del árbol , ya que a mayor altitud el árbol de capulí reduce su tamaño, es decir

mientras más esbelto sea el árbol más contenido de agua va a almacenar, dicho esto, se puede refutar que cada uno de los árboles donde se extrajo las muestras, no tenían o cumplían con la misma altura, por eso existen variaciones en los resultados del contenido de humedad verde.

Con fin investigativo, el contenido de humedad obtenido en nuestro estudio ha sido comparado con una investigación realizada anteriormente con el objetivo de determinar si existe o no similitud en los resultados. En la tabla N.- 25, se puede observar que el contenido de humedad verde obtenido en la provincia de Loja es igual a 37.48%, teniendo una variación del 5.53% en comparación en los resultados obtenidos en el cantón Mocha y un 69.53% en el cantón Cevallos, ambos cantones pertenecientes a la provincia de Tungurahua.

Tabla 36. Contenido de humedad verde

LUGAR	TIPO DE ÁRBOL	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	REFERENCIA
Loja	Capulí	37.48	[39]

Fuente: Autoría Propia

En conclusión, se puede observar que dichos valores se encuentran con un contenido de humedad superior al 35% de humedad, es decir cumple el porcentaje de humedad para madera verde o recién cortada.

En la figura 51 se presenta un mapa de zonificación de los cantones de la provincia de Ambato que presentaron el contenido de humedad en estado verde con valores representativos máximos y mínimos.

- **Densidad básica**

Para determinar la densidad básica de la madera de capulí, se realizó la relación entre la madera en estado seco y el volumen de la madera en estado verde o recién cortado.

La tabla 37, presenta la densidad básica obtenida en cada uno de los árboles pertenecientes a cantones de la provincia de Tungurahua.

Tabla 37. Densidad básica de la madera de capulí

CANTÓN	DENSIDAD BÁSICA <i>gr/cm³</i>
AMBATO	0.65
CEVALLOS	0.68
MOCHA	0.66
PELILEO	0.68
SANTIAGO DE PÍLLARO	0.64
QUERO	0.63
TISALEO	0.64

Fuente: Autoría Propia

Según Aylas [40] , la densidad básica del Capulí es de 0.68 gr/cm³, al igual que Alejandro Taquire y Paula Carrión [41], que mencionan que la densidad básica de *Prunus serótina* es de 0.64 gr/cm³.

Se observa que los resultados obtenidos, se encuentran en similitud a los valores de densidad básica obtenidos en investigaciones realizadas en años anteriores.

En conclusión, la madera de capulí se clasifica como una madera semidura ya que se encuentra en los rangos de 0.56 – 0.70 gr/cm³.

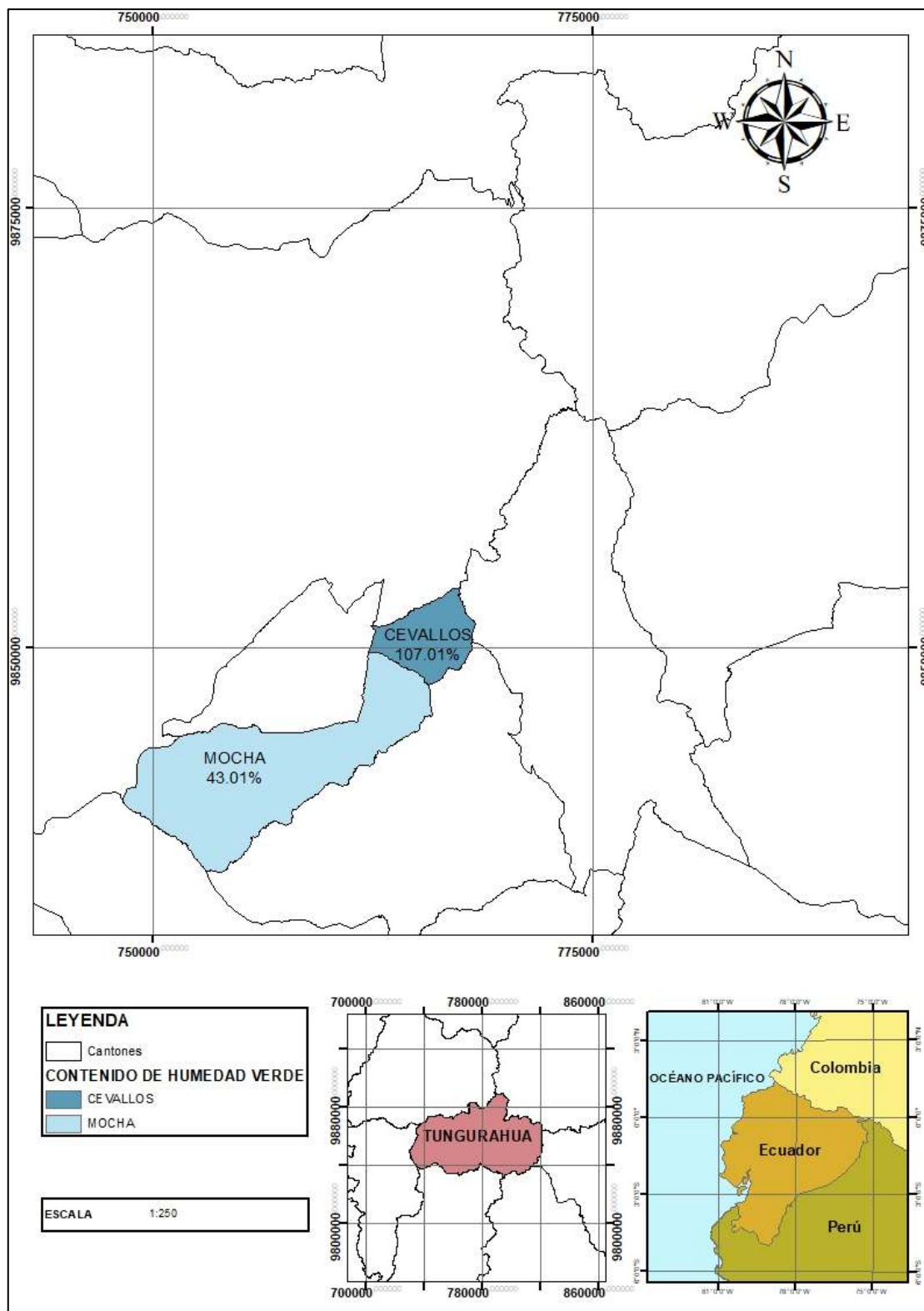


Figura 51. Mapa de zonificación de humedad verde de los cantones Mocha y Cevallos

Fuente: Autoría Propia

1.1.1.2. Contenido de humedad seca

La madera de capulí que se empleó en el estudio tuvo un proceso de secado natural o secado al aire libre. Para determinar el contenido de humedad de la madera de capulí en estado seco, se extrajo 5 muestras de las probetas que se emplearon en los ensayos mecánicos.

Tabla 38. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Ambato

AMBATO			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	61.47	53.94	13.96
2	71.15	62.10	14.57
3	64.08	55.87	14.69
4	71.29	62.86	13.41
5	64.93	57.19	13.53
PROMEDIO			14.03

Fuente: Autoría Propia

Tabla 39. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Cevallos

CEVALLOS			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	70.11	60.78	15.35
2	64.94	55.87	16.23
3	62.83	54.27	15.77
4	75.10	64.72	16.04
5	65.45	56.34	16.17
PROMEDIO			15.91

Fuente: Autoría Propia

Tabla 40. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Mocha

MOCHA			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	67.41	58.74	14.76
2	77.33	67.34	14.84
3	74.46	64.98	14.59
4	73.77	64.27	14.78
5	68.08	59.29	14.83
PROMEDIO			14.76

Fuente: Autoría Propia

Tabla 41. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Pelileo

PELILEO			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	77.68	67.35	15.34
2	77.80	67.57	15.14
3	77.09	66.82	15.37
4	76.47	66.42	15.13
5	68.28	59.25	15.24
PROMEDIO			15.24

Fuente: Autoría Propia

Tabla 42. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro

SANTIAGO DE PÍLLARO			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	65.45	56.21	16.44
2	65.22	56.14	16.17
3	61.40	52.16	17.71
4	61.39	52.15	17.72
5	56.42	49.74	13.43
PROMEDIO			16.29

Fuente: Autoría Propia

Tabla 43. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Quero

QUERO			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	80.07	69.88	14.58
2	77.68	67.57	14.96
3	65.77	57.24	14.90
4	66.88	58.19	14.93
5	66.78	58.08	14.98
PROMEDIO			14.87

Fuente: Autoría Propia

Tabla 44. Contenido de humedad seco de la madera de capulí del cantón Tisaleo

TISALEO			
# DE MUESTRA	MASA HUMEDA (P) gr	MASA ANHIDRA (Psh) gr	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) %
1	64.23	55.85	15.00
2	56.29	48.91	15.09
3	65.31	56.76	15.06
4	53.73	46.83	14.73
5	66.00	57.49	14.80
PROMEDIO			14.94

Fuente: Autoría Propia

La madera que obtuvo un mayor contenido de humedad en estado seco es la madera proveniente del cantón Santiago de Píllaro con 16.29%. Por otro lado, la madera que presentó un menor contenido es la proveniente del cantón Ambato adquiriendo un valor de 14.03%.

La figura 52 y 53 exponen el contenido de humedad en estado seco de la madera de capulí de cada cantón perteneciente a la provincia de Tungurahua.

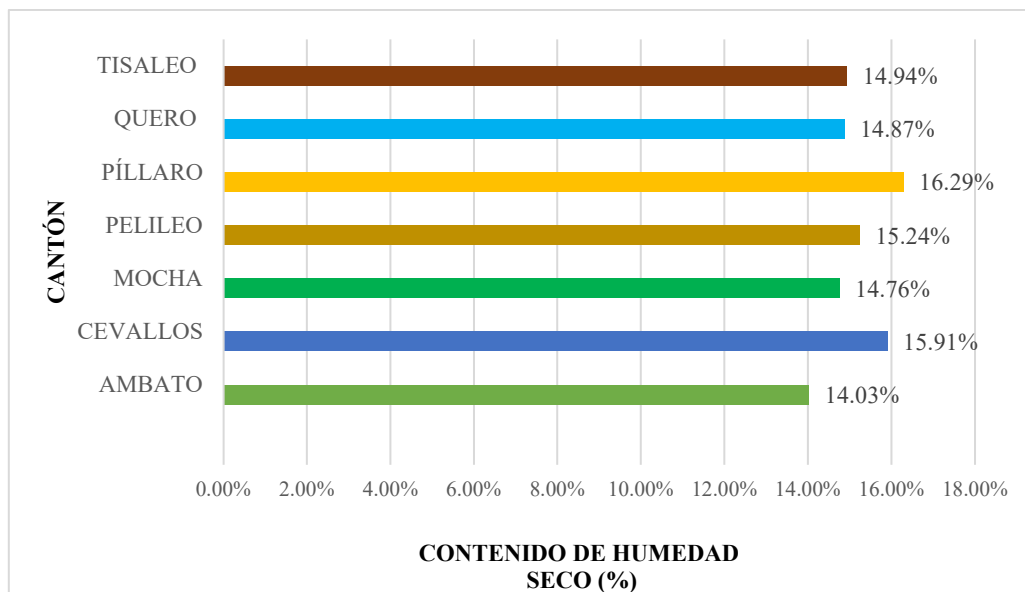


Figura 52. Contenido de humedad en estado seco de la madera de capulí a nivel cantonal

Fuente: Autoría Propia

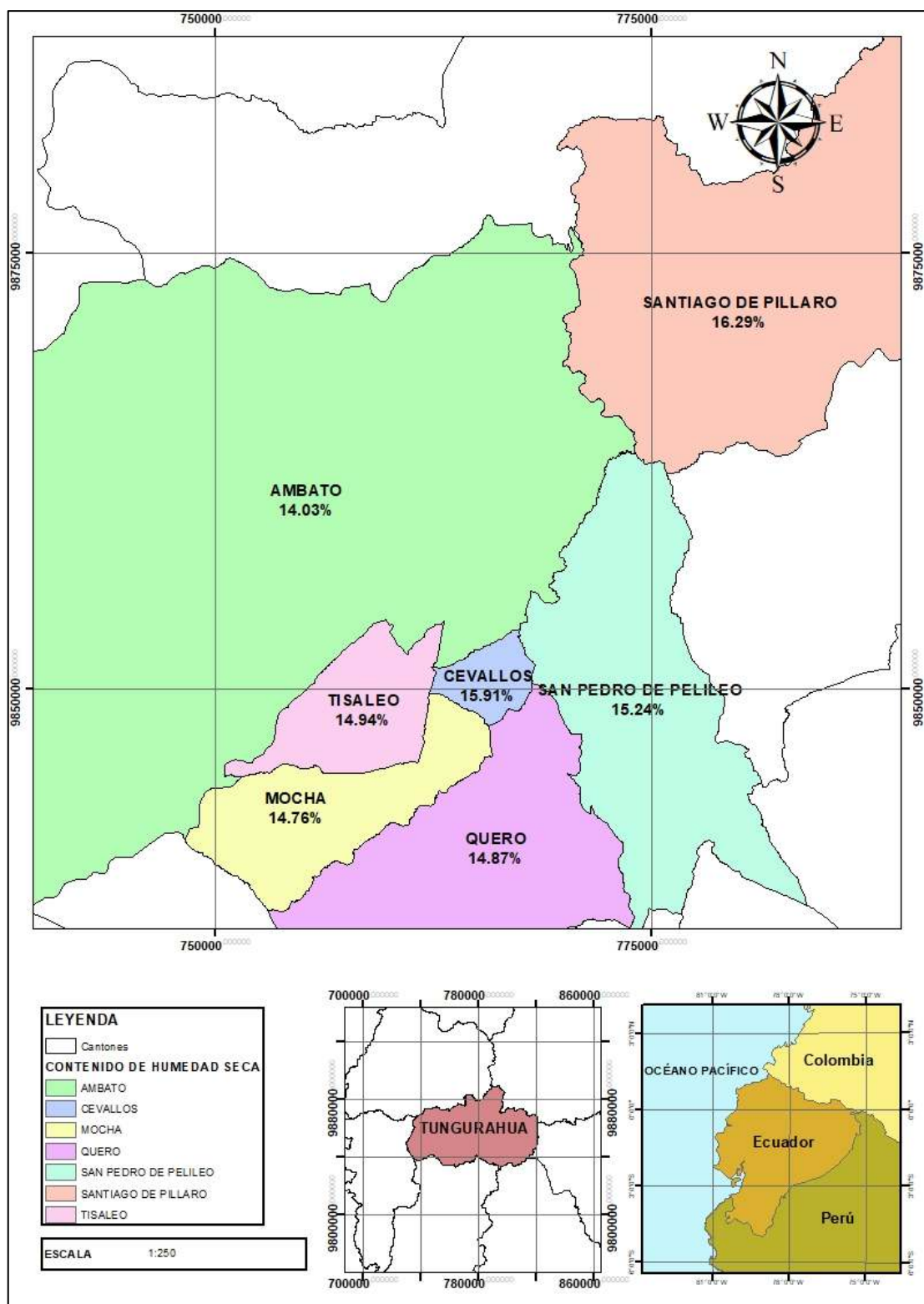


Figura 53. Mapa de zonificación del contenido de humedad seco de la madera de capulí a nivel cantonal

Fuente: Autoría Propia

1.1.2. Propiedades mecánicas

Se determinaron las propiedades mecánicas del resultado de cada uno de los ensayos mecánicos efectuados: flexión estática y tracción paralela a la fibra de madera, realizados en 84 probetas de madera de capulí pertenecientes a cada uno de los cantones de la provincia de Tungurahua.

1.1.2.1. Flexión perpendicular a la fibra

Tabla 45. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Ambato

CANTÓN: AMBATO				
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	DEFLEXIÓN EN CARGA MÁXIMA	CARGA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL
#	N	mm	N	mm
FA1	2712.89	15.93	1421.93	5.10
FA2	3431.96	13.77	1589.46	4.45
FA3	2893.45	9.57	2049.45	5.54
FA4	2708.12	11.19	1506.81	5.08
FA5	2480.83	12.50	1452.76	5.40
FA6	2605.44	10.70	1729.97	5.75

Fuente: Autoría Propia

Tabla 46. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima de la madera de capulí del cantón Ambato

N.- de Probeta	ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	RESISTENCIA MÁXIMA
#	Mpa	Mpa
FA1	49.14	93.76
FA2	54.93	118.61
FA3	70.83	100.00
FA4	52.08	93.59
FA5	50.21	85.74
FA6	59.79	90.04

Fuente: Autoría Propia

Tabla 47.Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Ambato

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ESFUERZO ADMISIBLE Mpa
FA1	8325.20	29.35
FA2	10665.38	37.13
FA3	11046.23	31.30
FA4	8856.88	29.30
FA5	8033.20	26.84
FA6	8983.74	28.19
PROMEDIO	9318.44	30.35

Fuente: Autoría Propia

Se puede observar que la resistencia máxima a flexión que obtuvo la madera de capulí perteneciente a el cantón Ambato, fue de 118.61 Mpa, mientras que la mínima resistencia fue de 85.74 Mpa, presentando una variación de 0.33%.

La figura 54 y 55 presenta la gráfica carga vs deflexión de las probetas FA2 y FA5, que obtuvieron las resistencias máximas y mínimas, respectivamente.

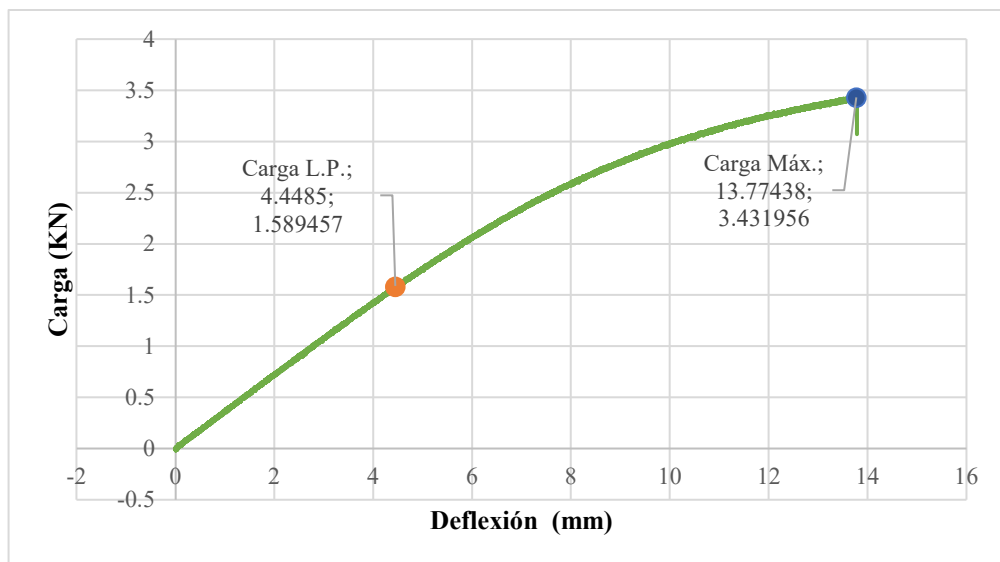


Figura 54. Grafica carga vs deflexión de la probeta FA2, de madera de capulí del cantón Ambato

Fuente: Autoría Propia

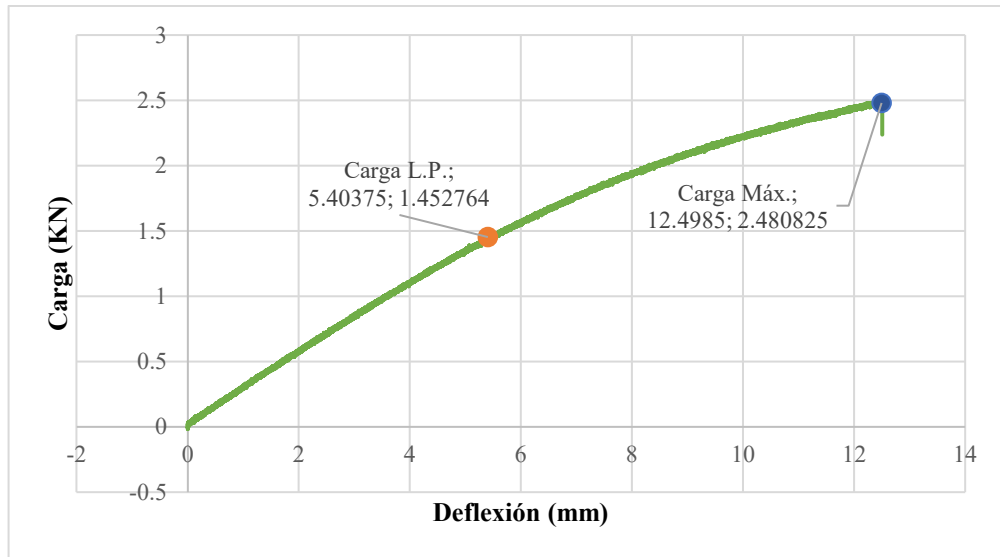


Figura 55. Grafica carga vs deflexión de la probeta FA5, de madera de capulí del cantón Ambato

Fuente: Autoría Propia

- **Clasificación Estructural de la Madera de Capulí del cantón Ambato**

Según los datos obtenidos se puede establecer que la madera de capulí perteneciente al cantón Ambato, cumple con el valor mínimo del módulo de elasticidad que será empleado para el cálculo individual de vigas o columnas, establecidos en el grupo B, ya que los valores representativos del grupo son 7500 – 10000 Mpa, mientras que el módulo de elasticidad promedio del estudio efectuado resulto ser 9318.44 Mpa, el cual sobrepasa el valor mínimo establecido en la normativa.

Sin embargo, el esfuerzo admisible promedio de 30.35 Mpa obtenido en nuestro estudio no clasifica a ningún grupo estructural ya que sobrepasa los límites de flexión, ya que, para el Grupo A, B y C, el esfuerzo admisible es 21, 15 y 10 Mpa respectivamente.

Tabla 48. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Cevallos

CANTÓN: CEVALLOS				
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	DEFLEXIÓN EN CARGA MÁXIMA	CARGA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL
#	N	mm	N	mm
FC1	2017.34	27.88	914.89	5.36
FC2	2236.37	26.01	1026.79	4.22
FC3	2082.51	24.51	778.19	3.54
FC4	1897.49	11.98	1006.76	5.03
FC5	2975.78	17.54	1519.52	5.63
FC6	2697.31	17.52	1273.47	5.30

Fuente: Autoría Propia

Tabla 49. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima de la madera de capulí del cantón Cevallos

N.- de Probeta	ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	RESISTENCIA MÁXIMA
#	Mpa	Mpa
FC1	31.62	69.72
FC2	35.49	77.29
FC3	26.89	71.97
FC4	34.79	65.58
FC5	52.51	102.84
FC6	44.01	93.22

Fuente: Autoría Propia

Tabla 50. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Cevallos

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD	ESFUERZO ADMISIBLE
	Mpa	Mpa
FC1	5096.73	21.83
FC2	7265.35	24.19
FC3	6564.02	22.53
FC4	5976.48	20.53
FC5	8059.08	32.19
FC6	7174.64	29.18
PROMEDIO	6689.38	25.08

Fuente: Autoría Propia

Mediante los datos obtenidos, se puede observar que la resistencia máxima que presento la madera de capulí perteneciente al cantón Cevallos fue de 102.84 Mpa, mientras que la resistencia mínima fue de 65.58 Mpa, existiendo una variación del 0.37% entre el valor máximo y mínimo de resistencia a flexión.

En la figura 56 y 57 se observa la gráfica carga vs deflexión de las probetas FC5 y FC4 que obtuvieron las resistencias a flexión máximas y mínimas, respectivamente.

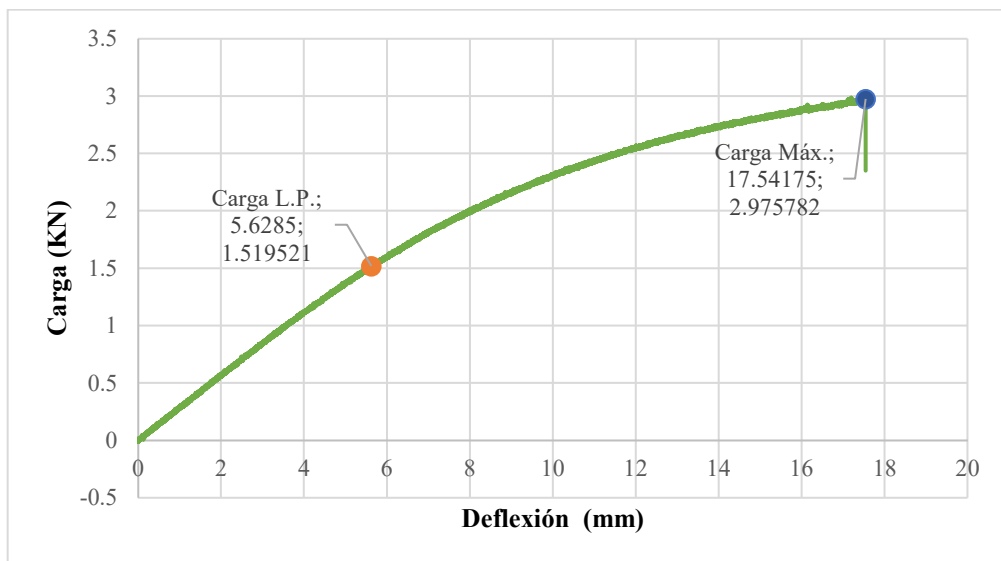


Figura 56. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FC5, de madera de capulí del cantón Cevallos

Fuente: Autoría Propia

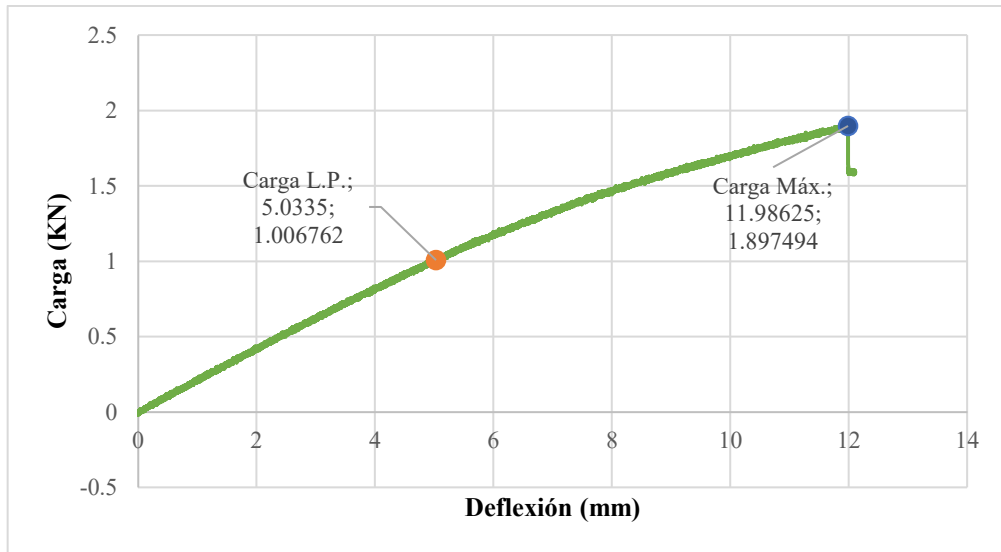


Figura 57. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FC4, de madera de capulí del cantón Cevallos

Fuente: Autoría Propia

- **Clasificación Estructural de la Madera de Capulí del cantón Cevallos**

Conforme a los valores obtenidos se puede establecer que la madera de capulí perteneciente a el cantón Cevallos, según el módulo de elasticidad, sobrepasa el valor mínimo establecido en el el grupo estructural C, ya que el presente grupo posee valores de 5500 – 90000 Mpa, y el módulo de elasticidad promedio obtenido en el estudio fue de 6689.38 Mpa.

A pesar de ello, el valor obtenido del esfuerzo admisible no clasifica a ningún grupo estructural ya que, para el Grupo A, B y C, el esfuerzo admisible es 21, 15 y 10 Mpa respectivamente, y en el presente estudio obtuvimos un esfuerzo admisible promedio de 25.08 Mpa, sobrepasando los limites indicados.

Tabla 51. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Mocha

CANTÓN: MOCHA				
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	DEFLEXIÓN EN CARGA MÁXIMA	CARGA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL
#	N	mm	N	mm
FM1	3389.36	14.49	2086.00	6.51
FM2	3575.96	15.24	2190.59	6.85
FM3	1639.37	9.36	1288.41	6.76
FM4	2914.43	10.31	1911.96	5.88
FM5	2767.51	14.52	1813.57	7.26
FM6	3131.52	14.51	2145.69	7.66

Fuente: Autoría Propia

Tabla 52. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima de la madera de capulí del cantón Mocha

N.- de Probeta	ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	RESISTENCIA MÁXIMA
#	Mpa	Mpa
FM1	72.09	117.14
FM2	75.71	123.59
FM3	44.53	56.66
FM4	66.08	100.72
FM5	62.68	95.65
FM6	74.15	108.23

Fuente: Autoría Propia

Tabla 53. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Mocha

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD	ESFUERZO ADMISIBLE
	Mpa	Mpa
FM1	9568.01	36.67
FM2	9549.00	38.69
FM3	5691.10	17.74
FM4	9709.31	31.53
FM5	7459.08	29.94
FM6	8364.22	33.88
PROMEDIO	8390.12	31.41

Fuente: Autoría Propia

Por medio de los resultados obtenidos, se puede observar que la resistencia máxima a flexión que presentó la madera de capulí perteneciente al cantón Mocha fue de 123.59 Mpa, y la resistencia mínima fue de 56.66 Mpa, presentando una variación de 0.66% entre los resultados de resistencia máxima y mínima.

En la figura 58 y 59 se observa el comportamiento de las probetas FM2 y FM3 a flexión estática, las mismas que obtuvieron la resistencia máxima y mínima, respectivamente.

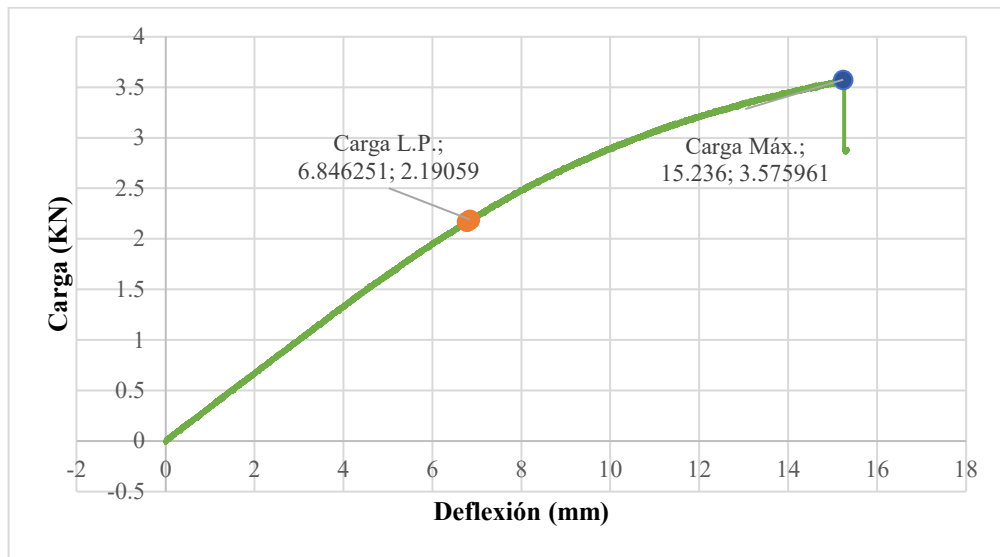


Figura 58. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FM2, de madera de capulí del cantón Mocha

Fuente: Autoría Propia

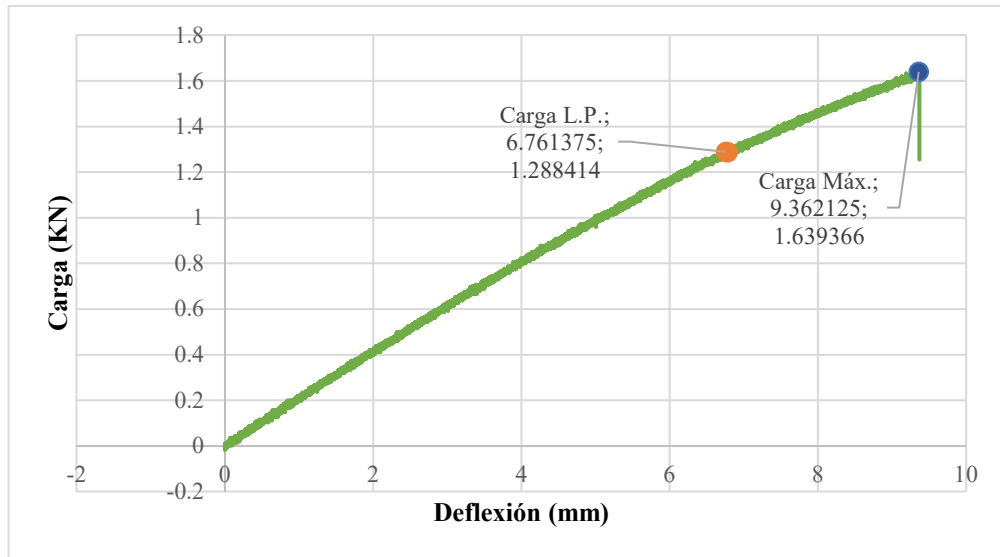


Figura 59. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FM3, de madera de capulí del cantón Mocha

Fuente: Autoría Propia

- **Clasificación Estructural de la Madera de Capulí del cantón Mocha**

Por medio del valor promedio del módulo de elasticidad, se puede establecer que la madera proveniente del cantón Mocha sobrepasa el valor mínimo del MOE establecido en el grupo estructural B, ya que los valores del MOE van de 7500 – 10000 Mpa, y en nuestro estudio se obtuvo un módulo de elasticidad de 8390.12 Mpa.

A pesar de ello, el valor obtenido del esfuerzo admisible sobrepasa los límites establecidos de flexión estática, ya que se obtuvo un valor de 31.41 Mpa, y los grupos maderables A, B y C, proporcionan valores de 21, 15 y 10 Mpa respectivamente.

Tabla 54. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Pelileo

CANTÓN: PELILEO				
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	DEFLEXIÓN EN CARGA MÁXIMA	CARGA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL
#	N	mm	N	mm
FP1	2922.69	16.68	2006.85	8.36
FP2	2026.88	10.63	1693.73	8.07
FP3	3330.87	18.60	2063.75	7.94
FP4	1223.56	5.33	1223.56	5.33
FP5	2158.17	9.35	1921.97	7.98
FP6	2690.32	12.89	1776.06	6.90

Fuente: Autoría Propia

Tabla 55. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima de la madera de capulí del cantón Pelileo

N.- de Probeta	ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	RESISTENCIA MÁXIMA
#	Mpa	Mpa
FP1	69.36	101.01
FP2	58.54	70.05
FP3	71.32	115.11
FP4	42.29	42.29
FP5	66.42	74.59
FP6	61.38	92.98

Fuente: Autoría Propia

Tabla 56. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Pelileo

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD	ESFUERZO ADMISIBLE
	Mpa	Mpa
FP1	7167.97	31.62
FP2	6266.96	21.93
FP3	7761.12	36.04
FP4	6854.68	13.24
FP5	7191.70	23.35
FP6	7685.92	29.11
PROMEDIO	7154.72	25.88

Fuente: Autoría Propia

Por medio de los datos obtenidos se puede observar que la resistencia máxima a flexión que mostro la madera de capulí proveniente del cantón Pelileo fue de 115.11 Mpa, mientras que la resistencia mínima que presento fue de 42.29 Mpa, presentando una diferenciación del 0.73% entre los resultados de carga máxima y mínima.

Las figuras 60 y 61 presentan el comportamiento a flexión estática de las probetas FP3 y FP4, las cuales obtuvieron la resistencia a flexión, máxima y mínima, respectivamente, en el ensayo mecánico.

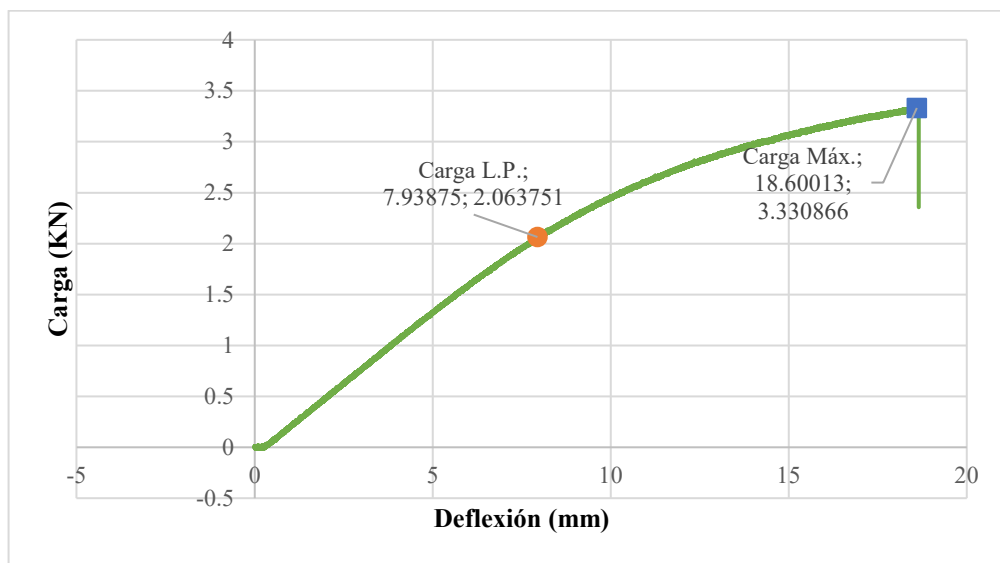


Figura 60. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FP3, de madera de capulí del cantón Pelileo

Fuente: Autoría Propia

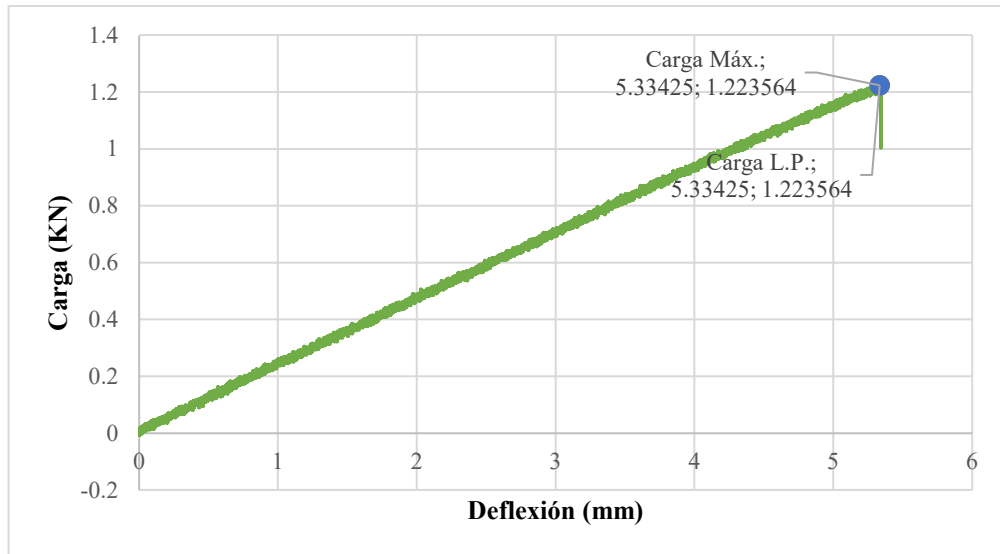


Figura 61. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FP4, de madera de capulí del cantón Pelileo

Fuente: Autoría Propia

Se observa en la figura 61, que la probeta de madera FP4, alcanzó su esfuerzo máximo en el límite proporcional, esto se debe a que la probeta presentó algún tipo de agujero no observable a simple vista, lo que provocó que exista una concentración de esfuerzos y por ende se presentó la rotura en dicho punto.

- **Clasificación estructural de la Madera de Capulí del cantón Pelileo**

En cuanto a los datos obtenidos se deduce que la madera de capulí perteneciente a el cantón Pelileo, sobrepasa el valor mínimo establecido en el grupo estructural C, ya que los valores establecidos en este grupo son 5500 – 90000 Mpa, y el valor obtenido fue de 7154.72 Mpa.

No obstante, el valor obtenido del esfuerzo admisible no clasifica para ningún grupo estructural, ya que sobrepasa los límites de cada grupo estructural, para el Grupo A, B y C, el esfuerzo admisible es 21, 15 y 10 Mpa respectivamente, y en el presente estudio obtuvimos un esfuerzo admisible promedio de 25.88 Mpa.

Tabla 57. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro

CANTÓN: SANTIAGO DE PILLARO				
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	DEFLEXIÓN EN CARGA MÁXIMA	CARGA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL
#	N	mm	N	mm
FS1	2279.28	22.45	1200.99	5.72
FS2	1235.64	9.75	640.55	3.56
FS3	2153.40	16.48	1139.01	4.74
FS4	1819.93	25.33	1066.84	6.26
FS5	1660.03	9.50	1375.83	6.25
FS6	1591.05	10.59	1091.64	4.74

Fuente: Autoría Propia

Tabla 58. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima de la madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro

N.- de Probeta	ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	RESISTENCIA MÁXIMA
#	Mpa	Mpa
FS1	41.51	78.77
FS2	22.14	42.70
FS3	39.36	74.42
FS4	36.87	62.90
FS5	47.55	57.37
FS6	37.73	54.99

Fuente: Autoría Propia

Tabla 59. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD	ESFUERZO ADMISIBLE
	Mpa	Mpa
FS1	6269.49	24.66
FS2	5372.69	13.37
FS3	7175.21	23.30
FS4	5088.78	19.69
FS5	6573.15	17.96
FS6	6876.83	17.21
PROMEDIO	6226.03	19.36

Fuente: Autoría Propia

Según los valores de resistencia máximos y mínimos, se observa un valor máximo de la madera de capulí proveniente del cantón Santiago de Píllaro de 78.77 Mpa, y una

resistencia mínima de 42.70 Mpa, existiendo una variación de 0.36% entre los valores obtenidos de resistencia a flexión, máximos y mínimos.

La figura 62 y 63 muestran el comportamiento a flexión estática de las probetas FS1 y FS2, que presentaron la resistencia máxima y mínima del ensayo mecánico.

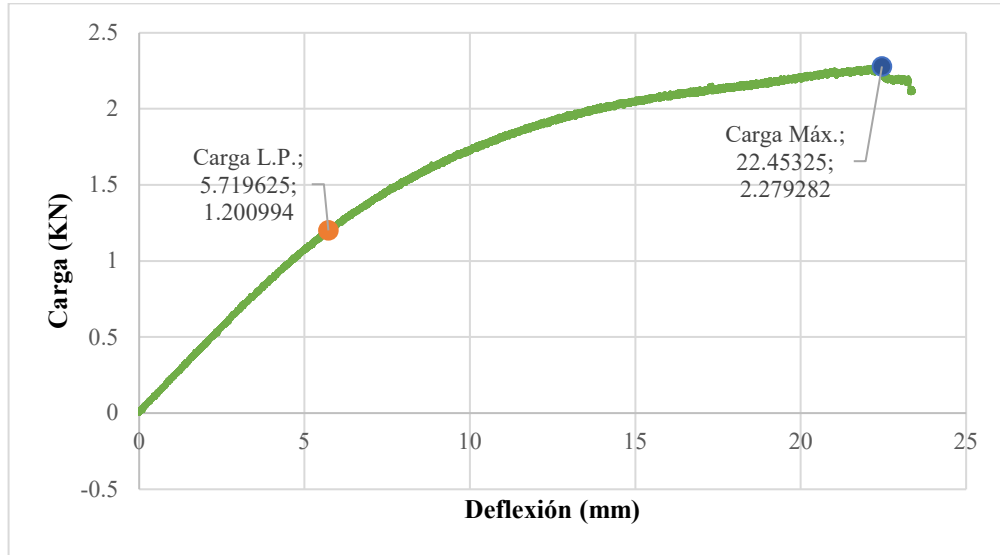


Figura 62. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FS1, de madera de capulí del cantón Santiago de Pillaro

Fuente: Autoría Propia

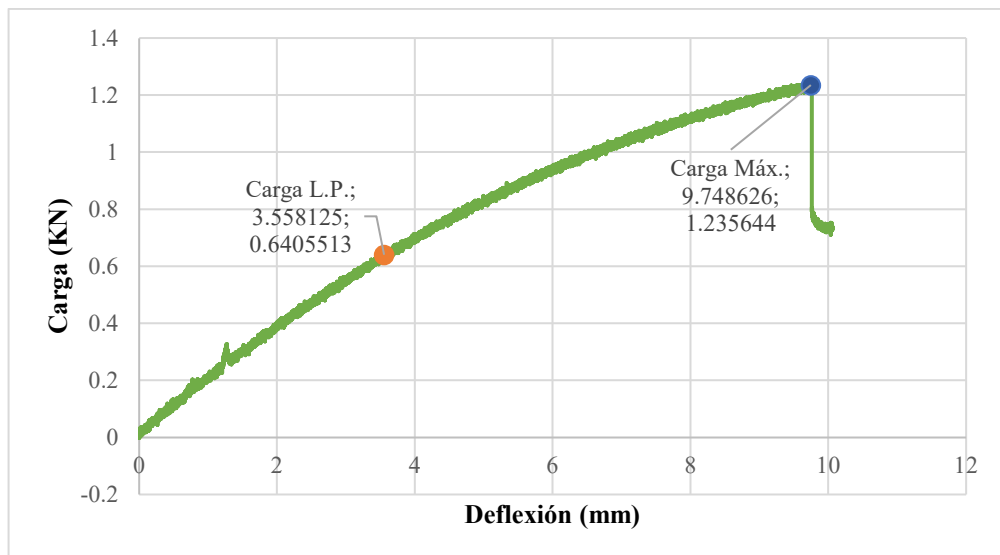


Figura 63. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FS2, de madera de capulí del cantón Santiago de Pillaro

Fuente: Autoría Propia

- **Clasificación Estructural de la Madera de Capulí del cantón Santiago de Píllaro**

Mediante los datos obtenidos se determina que la madera de capulí proveniente del cantón Santiago de Píllaro, excede el valor mínimo establecido en el grupo estructural C, encontrándose en el rango de 5500 – 90000 Mpa, ya que el módulo de elasticidad resulto ser 6226.03 Mpa, el mismo que se sobrepasa a el valor mínimo de 5550 Mpa.

Sin embargo, el valor obtenido del esfuerzo admisible no clasifica para ninguno de los tres grupos estructurales, el valor del esfuerzo admisible que se obtuvo fue de 19.36 Mpa.

Tabla 60. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Quero

CANTÓN: QUERO				
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	DEFLEXIÓN EN CARGA MÁXIMA	CARGA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL
#	N	mm	N	mm
FQ1	1663.84	9.63	977.52	4.07
FQ2	3384.91	16.03	2202.67	7.11
FQ3	3697.40	17.88	2209.98	6.69
FQ4	2821.29	13.88	1966.79	7.87
FQ5	3361.38	17.09	2429.33	8.99
FQ6	2165.48	9.48	1510.62	6.04

Fuente: Autoría Propia

Tabla 61. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima de la madera de capulí del cantón Quero

N.- de Probeta	ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	RESISTENCIA MÁXIMA
#	Mpa	Mpa
FQ1	33.78	57.50
FQ2	76.12	116.98
FQ3	76.38	127.78
FQ4	67.97	97.50
FQ5	83.96	116.17
FQ6	52.21	74.84

Fuente: Autoría Propia

Tabla 62. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Quero

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ESFUERZO ADMISIBLE Mpa
FQ1	7171.62	18.00
FQ2	9250.54	36.62
FQ3	9863.93	40.00
FQ4	7462.28	30.52
FQ5	8068.89	36.37
FQ6	7468.03	23.43
PROMEDIO	8214.21	30.82

Fuente: Autoría Propia

La resistencia máxima que mostro la madera de capulí proveniente del cantón Quero fue de 127.78 Mpa, mientras que la resistencia mínima fue de 57.50 Mpa, presentando una variación de 0.70 % con respecto al resultado de la resistencia máxima y mínima.

Las figuras 64 y 65 exponen la conducta a flexión estática de las probetas FQ3 y FQ1, las mismas que alcanzaron la resistencia máxima y mínima, respectivamente.

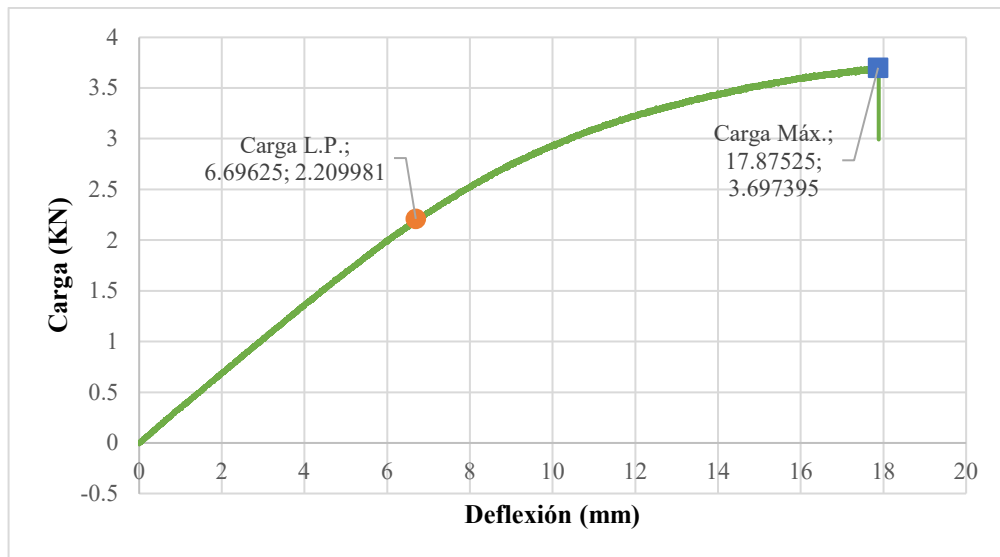


Figura 64. Grafica carga vs deflexión de la probeta FQ3, de madera de capulí del cantón Quero

Fuente: Autoría Propia

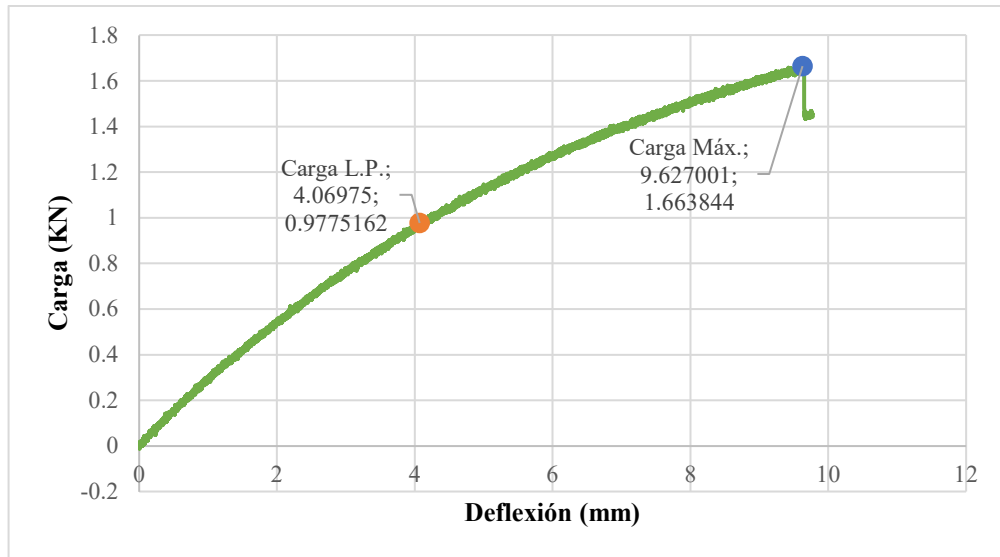


Figura 65. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FQ1, de madera de capulí del cantón Quero

Fuente: Autoría Propia

- **Clasificación Estructural de la Madera de Capulí del cantón Quero**

Según el valor promedio del módulo de elasticidad, se determinó que la madera perteneciente al cantón Quero, excede el valor mínimo establecido en el grupo estructural B, puesto que el grupo en mención estable parámetros de valores de 7500 – 10000 Mpa, y el módulo de elasticidad promedio obtenido fue de 8214.21 Mpa.

Por otra parte, no clasifica a ningún grupo estructural el esfuerzo admisible, ya que sobrepasa los valores límites de flexión estática, ya que el valor de esfuerzo admisible fue de 30.82 Mpa, y los valores que se establecen en cada uno de los grupos estructurales maderables A, B y C, son 21, 15 y 10 Mpa respectivamente.

Tabla 63. Cargas y deflexiones de la madera de capulí del cantón Tisaleo

CANTÓN: TISALEO				
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	DEFLEXIÓN EN CARGA MÁXIMA	CARGA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	DEFLEXIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL
#	N	mm	N	mm
FT1	3506.98	16.26	1827.56	5.07
FT2	2042.77	10.86	1168.57	5.07
FT3	2644.86	22.77	1147.27	4.41
FT4	1831.69	9.28	1067.80	3.68
FT5	2296.45	14.48	1224.84	4.37
FT6	1747.45	14.03	1037.28	5.46

Fuente: Autoría Propia

Tabla 64. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional y resistencia máxima del cantón Tisaleo

N.- de Probeta	ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL	RESISTENCIA MÁXIMA
#	Mpa	Mpa
FT1	63.16	121.20
FT2	40.39	70.60
FT3	39.65	91.41
FT4	36.90	63.30
FT5	42.33	79.37
FT6	35.85	60.39

Fuente: Autoría Propia

Tabla 65. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible del cantón Tisaleo

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD	ESFUERZO ADMISIBLE
	Mpa	Mpa
FT1	10763.43	37.94
FT2	6882.30	22.10
FT3	7768.09	28.61
FT4	8664.20	19.82
FT5	8369.20	24.84
FT6	5672.71	18.91
PROMEDIO	8019.99	25.37

Fuente: Autoría Propia

Se observa que la resistencia máxima que presentó la madera de capulí proveniente del cantón Tisaleo fue 121.20 Mpa, y la resistencia mínima fue de 60.39 Mpa, presentando una variación de 0.60% entre la resistencia máxima y mínima obtenida.

Las figuras 66 y 67 ostentan el comportamiento a flexión estática de las probetas FT1 y FT6, las mismas que presentaron la resistencia máxima y mínima, respectivamente en los ensayos mecánicos.

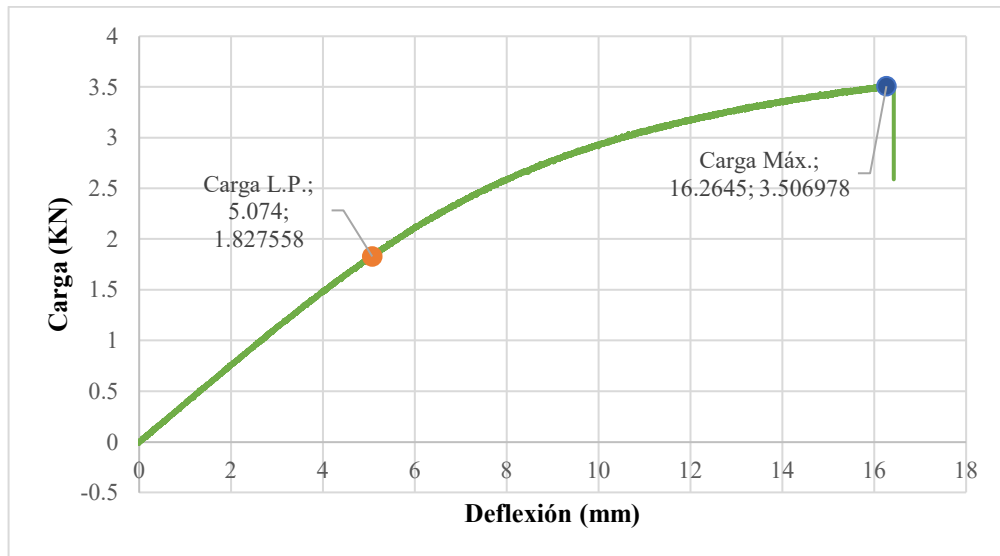


Figura 66. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FT1, de madera de capulí del cantón Tisaleo

Fuente: Autoría Propia

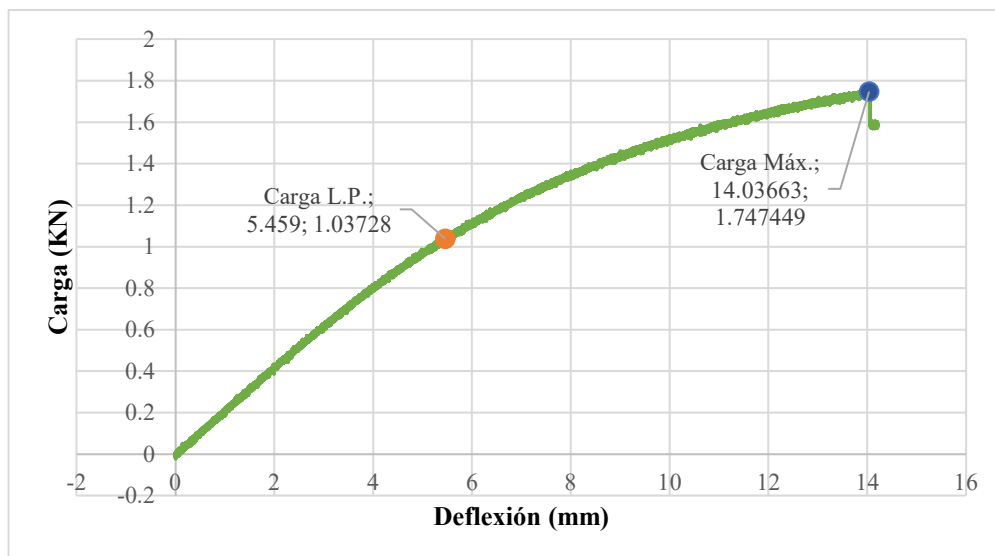


Figura 67. Gráfica carga vs deflexión de la probeta FT6, de madera de capulí del cantón Tisaleo

Fuente: Autoría Propia

- **Clasificación Estructural de la Madera de Capulí del cantón Tisaleo**

En constancia con los resultados obtenidos del módulo de elasticidad promedio, se estableció que la madera de capulí perteneciente al cantón Tisaleo, supera el valor mínimo establecido en el grupo estructural B, ya que el mismo establece valores de 7500 – 10000 Mpa, puesto que el valor obtenido en nuestro estudio fue de 8019.99 Mpa.

Además, el esfuerzo admisible no clasifica a ningún grupo estructural, debido a que el valor obtenido excede los límites de flexión. El valor de esfuerzo admisible fue de 25.37 Mpa, y los valores que se establecen en cada uno de los grupos estructurales A, B, y C son 21,15, y 10 Mpa respectivamente.

- **Relación del contenido de humedad**

Se observa que el contenido de humedad que presentaron las probetas tuvo relación directa con la resistencia alcanzada.

En la tabla 53 se observa el contenido de humedad y el módulo de elasticidad obtenido.

Tabla 66. Módulo de elasticidad y Contenido de humedad

CANTÓN	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	CONTENIDO DE HUMEDAD %
AMBATO	9318.44	14.03
CEVALLOS	6689.38	15.91
MOCHA	8390.12	14.76
PELILEO	7154.72	15.24
PÍLLARO	6226.03	16.29
QUERO	8214.21	14.87
TISALEO	8019.99	14.94

Fuente: Autoría Propia

La madera al disminuir su contenido de humedad logra aumentar su capacidad de oponerse a la deformación, es decir la madera se vuelve más rígida.

Dicho esto, se observa que la madera proveniente del cantón Ambato, obtuvo el menor contenido de humedad, y por ende el mayor módulo de elasticidad, sin embargo, el cantón Santiago de Píllaro al presentar un contenido de humedad superior, logro alcanzar el módulo de elasticidad más bajo al igual que el cantón Cevallos.

- **Fallas evidenciadas en flexión estática**

Las fallas que se presentaron en las probetas a flexión estática fueron: a) Tensión simple, b) Tensión transversal, c) Tensión astillada, d) Tensión abrupta y e) Compresión.








La tabla 67 y 68 presentan las fallas producidas en cada una de las probetas elaboradas por cada cantón.

Tabla 67. Fallas generadas en las probetas de flexión estática

CANTÓN: AMBATO						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	a	a	b	b	a	b
CANTÓN: CEVALLOS						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	b	c	c	b	a	a
CANTÓN: MOCHA						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	b	b	c	c	c	b
CANTÓN: PELILEO						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	a	c	a	b	d	b
CANTÓN: SANTIAGO DE PÍLLARO						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	b	b	c	e	c	e
CANTÓN: QUERO						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	b	a	a	b	a	b
CANTÓN: TISALEO						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	a	b	b	e	a	b

Fuente: Autoría Propia

Tabla 68. Ilustraciones de las fallas producidas en las probetas sometidas a flexión estática

<p style="text-align: center;">AMBATO</p> 	<p style="text-align: center;">CEVALLOS</p> 
<p style="text-align: center;">MOCHA</p> 	<p style="text-align: center;">PELILEO</p> 
<p style="text-align: center;">SANTIAGO DE PÍLLARO</p> 	<p style="text-align: center;">QUERO</p> 
<p>TISALEO</p>	
	

Fuente: Autoría Propia

1.1.2.2.Tracción paralela a la fibra

Tabla 69. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Ambato

CANTÓN: AMBATO			
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	DEFORMACIÓN UNITARIA
#	N	Mpa	mm / mm
TA1	2438.64	52.32	1.96E-02
TA2	2269.29	48.69	2.44E-02
TA3	5351.46	114.81	7.56E-02
TA4	2574.12	55.23	3.04E-02
TA5	3387.00	72.67	3.32E-02
TA6	2099.94	45.05	2.04E-02

Fuente: Autoría Propia

Tabla 70. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Ambato

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ESFUERZO ADMISIBLE Mpa
TA1	2669.42	24.91
TA2	1995.38	23.18
TA3	1518.71	54.67
TA4	1816.69	26.30
TA5	2188.78	34.60
TA6	2208.52	21.45
PROMEDIO	2066.25	30.85

Fuente: Autoría Propia

El valor mayor de resistencia a tracción que presentó en el ensayo mecánico de tracción paralela a la fibra la madera de capulí fue de 114.81 Mpa, mientras que el mínimo fue de 45.05 Mpa, los valores máximos y mínimos presentaron una variación del 0.69%.

El valor promedio del módulo de elasticidad que se obtuvo en el cantón Ambato fue de 2066.25 Mpa y un esfuerzo admisible de 30.85 Mpa.

En las figuras 68 y 69 se presenta el comportamiento a tracción paralela a la fibra de las probetas TA3 y TA6, las mismas que obtuvieron la mayor y menor resistencia a tracción, respectivamente.

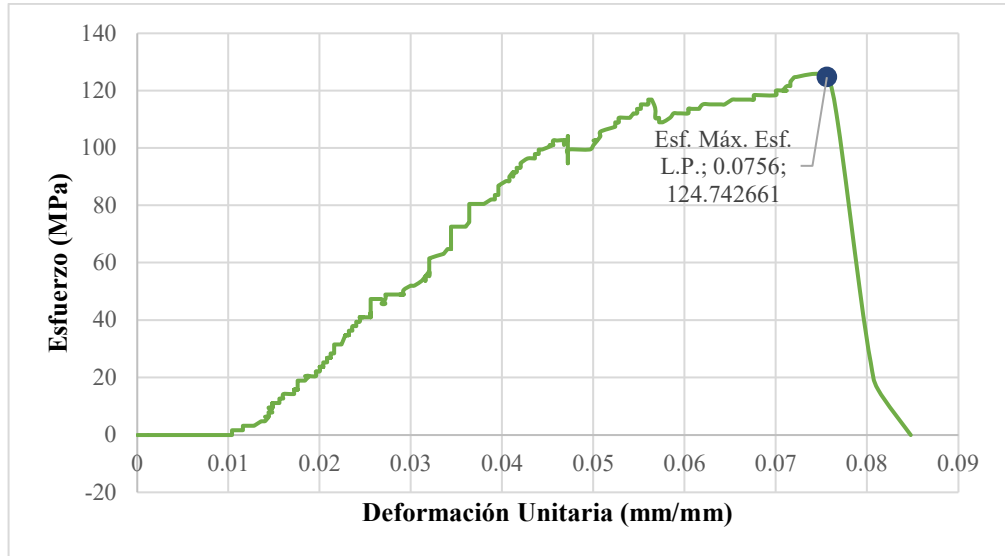


Figura 68. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TA3, de madera de capulí del cantón Ambato

Fuente: Autoría Propia

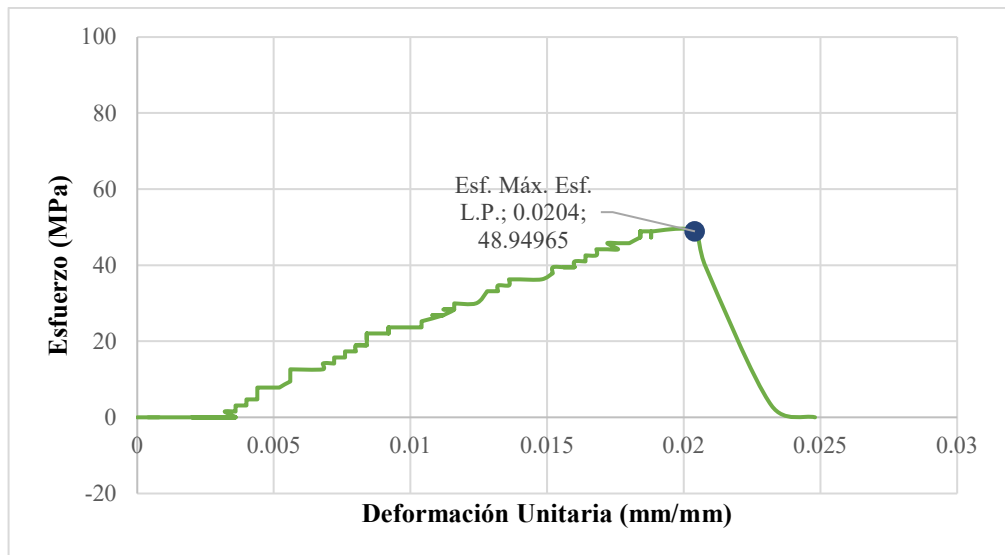


Figura 69. Gráfica esfuerzo vs deformación de la probeta TA6, de madera de capulí del cantón Ambato

Fuente: Autoría Propia

Tabla 71. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Cevallos

CANTÓN: CEVALLOS			
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	DEFORMACIÓN UNITARIA
#	N	Mpa	mm / mm
TC1	2506.38	53.77	4.24E-02
TC2	1790.97	38.42	3.90E-02
TC3	2370.90	50.87	5.40E-02
TC4	1705.69	36.60	3.86E-02
TC5	1083.84	23.25	2.12E-02
TC6	2106.03	45.18	3.32E-02

Fuente: Autoría Propia

Tabla 72. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Cevallos

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ESFUERZO ADMISIBLE Mpa
TC1	1268.26	25.61
TC2	985.26	18.30
TC3	941.99	24.22
TC4	948.07	17.43
TC5	1096.87	11.07
TC6	1360.98	21.52
PROMEDIO	1100.24	19.69

Fuente: Autoría Propia

Los valores máximos y mínimos de resistencia a tracción de la madera de capulí fueron de 53.77 Mpa y 23.25 Mpa, respectivamente. Además, se presentó una variación de 0.30% con relación a los resultados mencionados.

El valor promedio del módulo de elasticidad del cantón Cevallos fue de 1100.24 Mpa y el esfuerzo admisible de 19.69 Mpa.

Las figuras 70 y 71 presentan la gráfica de esfuerzo vs deformación unitaria de las probetas TC1 y TC5, las cuales presentaron los valores máximos y mínimos de resistencia a tracción, respectivamente.

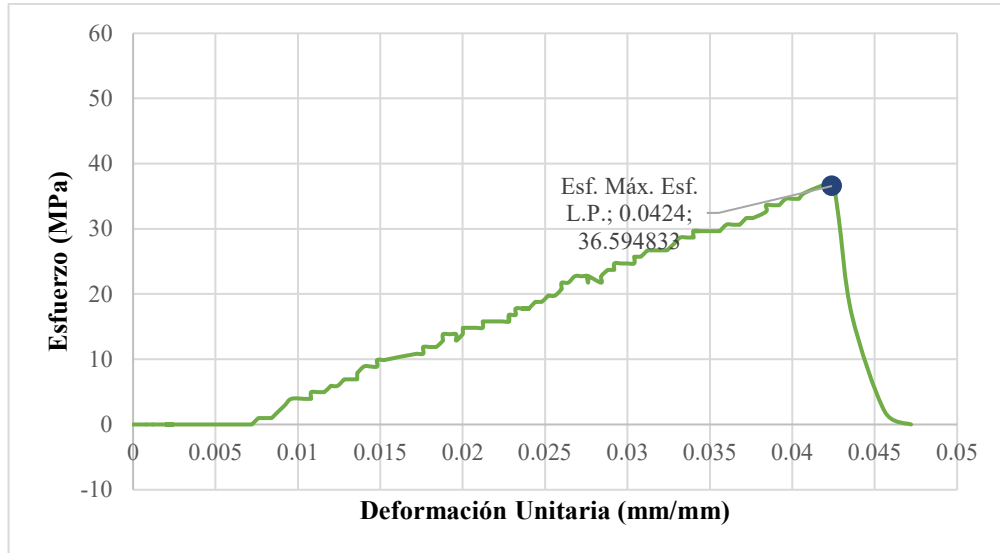


Figura 70. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TC1, de madera de capulí del cantón Cevallos

Fuente: Autoría Propia

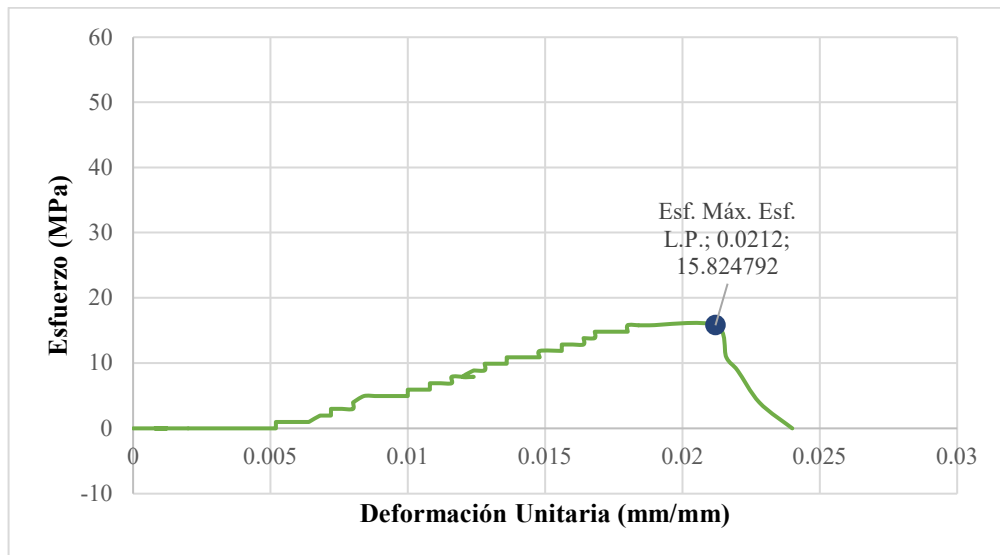


Figura 71. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TC5, de madera de capulí del cantón Cevallos

Fuente: Autoría Propia

Tabla 73. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Mocha

CANTÓN: MOCHA			
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	DEFORMACIÓN UNITARIA
#	N	Mpa	mm / mm
TM1	5893.38	126.44	6.00E-02
TM2	4538.58	97.37	4.96E-02
TM3	1896.72	40.69	1.92E-02
TM4	5351.46	114.81	4.39E-02
TM5	3387.00	72.67	4.56E-02
TM6	3725.70	79.93	4.24E-02

Fuente: Autoría Propia

Tabla 74. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera del cantón Mocha

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD	ESFUERZO ADMISIBLE
TM1	2107.36	60.21
TM2	1963.20	46.37
TM3	2119.47	19.38
TM4	2616.56	54.67
TM5	1593.59	34.60
TM6	1885.24	38.06
PROMEDIO	2047.57	42.22

Fuente: Autoría Propia

Se observa que los valores de resistencia a tracción máximo y mínimo fueron de 126.44 Mpa y 40.69 Mpa, respectivamente. La variación que presentaron las resistencias mencionadas fue de 0.85%.

Además, el valor promedio del módulo de elasticidad que se determinó para el cantón mocha fue de 2047.57 Mpa y el esfuerzo admisible de 42.22 Mpa.

En las figuras 72 y 73 se observa la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de las probetas TM1 y TM3, las mismas que alcanzaron la resistencia máxima y mínima, respectivamente, en comparación con las demás probetas empleadas en el ensayo mecánico de tracción.

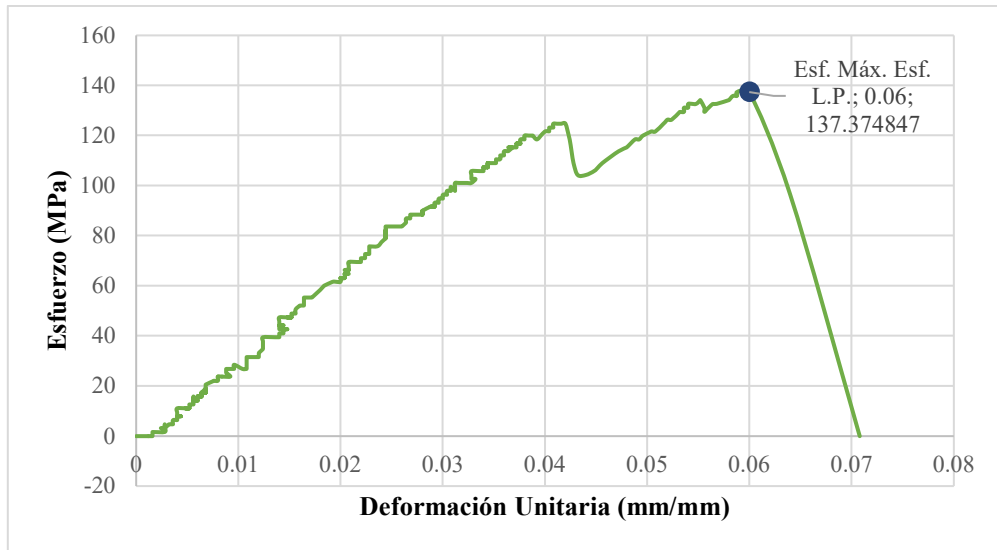


Figura 72. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TM1, de madera de capulí del cantón Mocha

Fuente: Autoría Propia

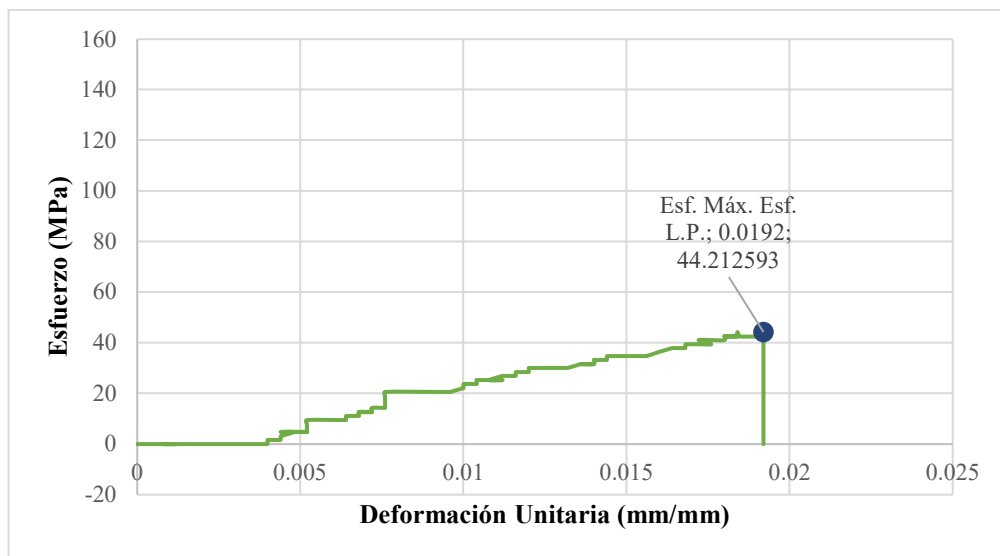


Figura 73. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TM3, de madera de capulí del cantón Mocha

Fuente: Autoría Propia

Tabla 75. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Pelileo

CANTÓN: PELILEO			
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	DEFORMACIÓN UNITARIA
#	N	Mpa	mm / mm
TP1	3319.26	71.21	4.24E-02
TP2	1828.98	39.24	2.60E-02
TP3	1896.72	40.69	4.28E-02
TP4	1964.46	42.15	3.76E-02
TP5	2255.74	48.40	3.86E-02
TP6	2506.38	53.77	3.36E-02

Fuente: Autoría Propia

Tabla 76. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Pelileo

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ESFUERZO ADMISIBLE Mpa
TP1	1679.58	33.91
TP2	1509.25	18.69
TP3	950.79	19.38
TP4	1120.94	20.07
TP5	1253.80	23.05
TP6	1600.42	25.61
PROMEDIO	1352.46	23.45

Fuente: Autoría Propia

La resistencia a la tracción mínima y máxima que presentó la madera procedente el cantón Pelileo fue de 71.21 Mpa y 39.24 Mpa, respectivamente. La variación que presentaron los resultados de resistencia máxima y mínima fue de 0.32%.

Asimismo, el valor promedio del módulo de elasticidad que se determinó para el cantón Pelileo fue de 1352.46 Mpa y un esfuerzo admisible de 23.45 Mpa.

En las figuras 74 y 75, se observa las graficas esfuerzo vs deformacion unitaria de las probetas TP1 y TP2 , las mismas que obtuvieron la resistencia maxima y minima.

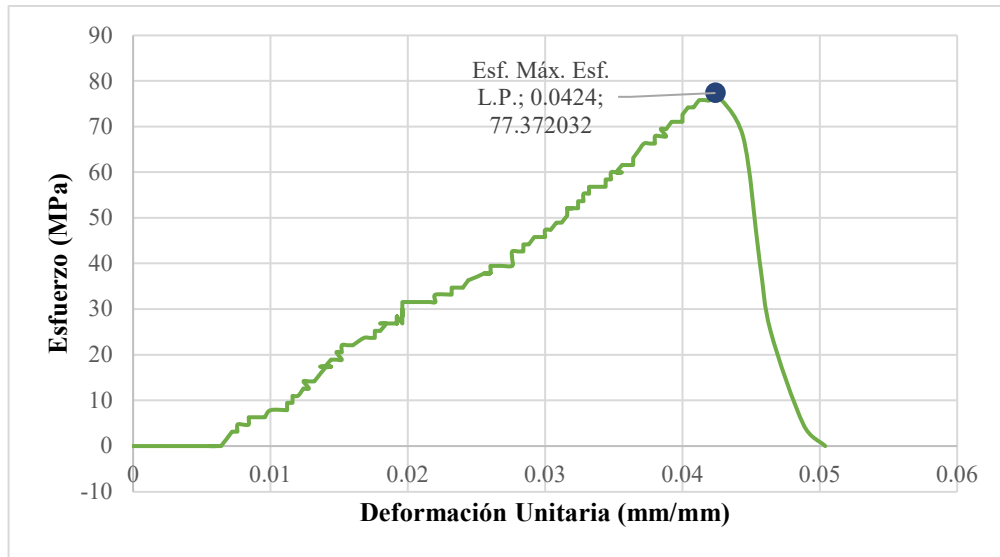


Figura 74. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TP1, de madera de capulí del cantón Pelileo

Fuente: Autoría Propia

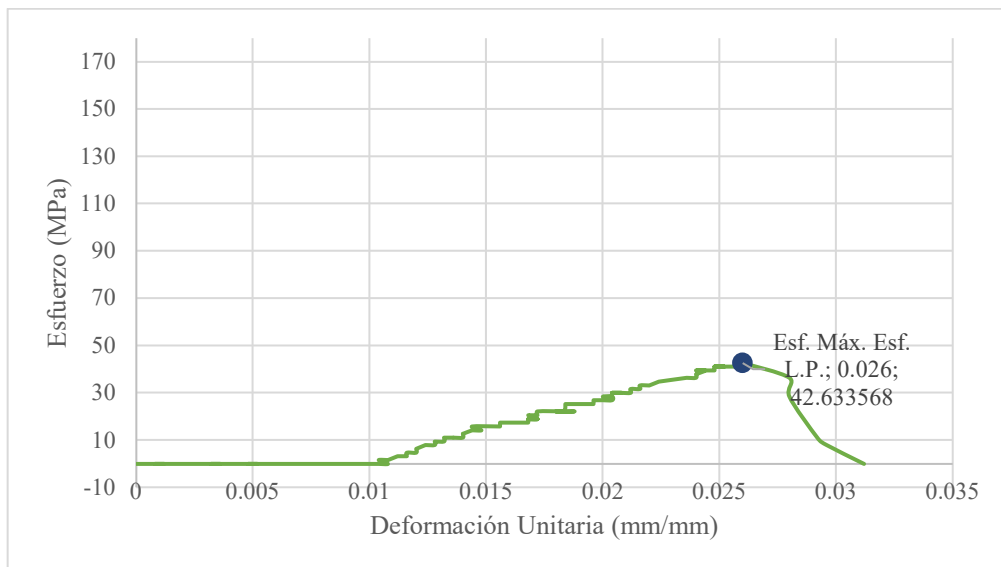


Figura 75. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TP2, de madera de capulí del cantón Pelileo

Fuente: Autoría Propia

Tabla 77. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro

CANTÓN: SANTIAGO DE PÍLLARO			
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	DEFORMACIÓN UNITARIA
#	N	Mpa	mm / mm
TS1	2980.56	63.95	5.80E-02
TS2	3048.30	65.40	5.24E-02
TS3	5554.68	119.17	6.88E-02
TS4	1828.98	39.24	2.56E-02
TS5	3928.92	84.29	6.12E-02
TS6	5012.76	107.55	8.24E-02

Fuente: Autoría Propia

Tabla 78. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de cantón Santiago de Píllaro

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ESFUERZO ADMISIBLE Mpa
TS1	1102.54	30.45
TS2	1248.11	31.14
TS3	1732.19	56.75
TS4	1532.83	18.69
TS5	1377.36	40.14
TS6	1305.19	51.21
PROMEDIO	1383.04	38.06

Fuente: Autoría Propia

La máxima y mínima resistencia a la tracción que presentó la madera de capulí fue de 119.17 Mpa y 39.24 Mpa, respectivamente. La variación que existe entre ambas resistencias fue de 0.79%.

El valor promedio del módulo de elasticidad de la madera del cantón Santiago de Píllaro fue de 1383.04 Mpa y un esfuerzo admisible de 38.06 Mpa.

Las figuras 76 y 77, exponen las gráficas esfuerzo vs deformación unitaria de las probetas TS3 y TS4, que presentaron la resistencia a tracción máxima y mínima.

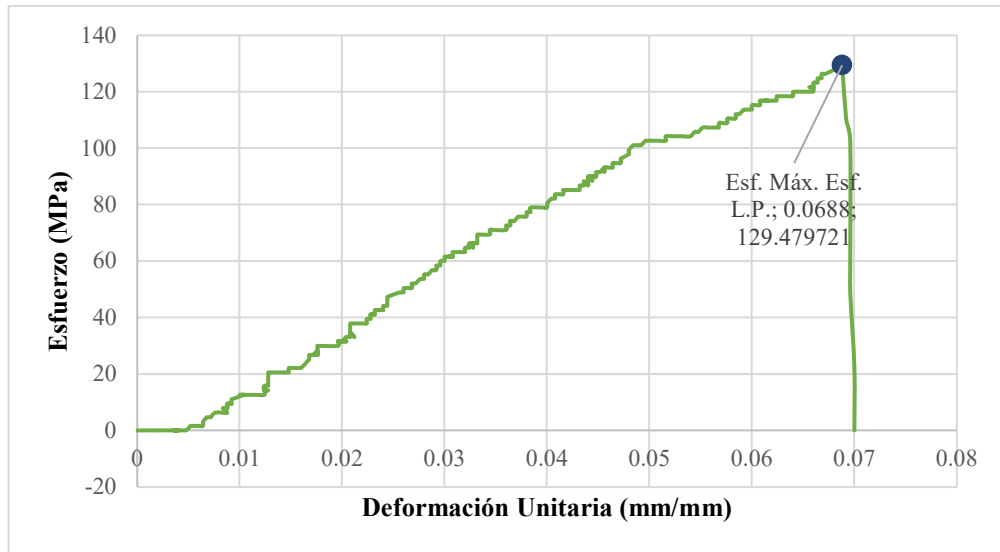


Figura 76. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TS3, de madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro

Fuente: Autoría Propia

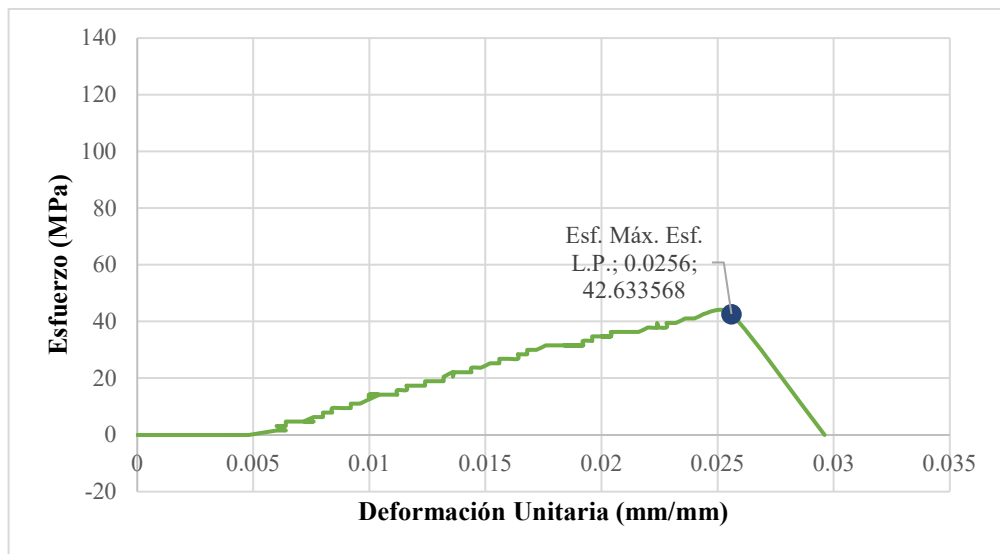


Figura 77. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TS4, de madera de capulí del cantón Santiago de Píllaro

Fuente: Autoría Propia

Tabla 79. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Quero

CANTÓN: QUERO			
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	DEFORMACIÓN UNITARIA
#	N	Mpa	mm / mm
TQ1	4538.58	97.37	6.92E-02
TQ2	3522.48	75.57	5.88E-02
TQ3	1151.58	24.71	1.88E-02
TQ4	5351.46	114.81	7.08E-02
TQ5	1625.76	34.88	2.08E-02
TQ6	3048.30	65.40	3.80E-02

Fuente: Autoría Propia

Tabla 80. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Quero

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ESFUERZO ADMISIBLE Mpa
TQ1	1407.15	46.37
TQ2	1285.28	35.99
TQ3	1314.20	11.77
TQ4	1621.68	54.67
TQ5	1676.94	16.61
TQ6	1721.07	31.14
PROMEDIO	1504.39	32.76

Fuente: Autoría Propia

Los valores representativos máximos y mínimos de resistencia a la tracción fueron de 114.81 Mpa y 24.71 Mpa, respectivamente. La diferenciación que presentaron en relación con los dos valores fue de 0.90%.

El valor promedio del módulo de elasticidad de la madera del cantón Quero fue de 1504.39 Mpa y el esfuerzo admisible de 32.76 Mpa.

En las figuras 78 y 79, se presenta las gráficas de esfuerzo vs deformación unitaria de las probetas TQ4 y TQ3, las mismas que alcanzaron la resistencia máxima y mínima con relación a las otras probetas que se emplearon en el ensayo mecánico de tracción.

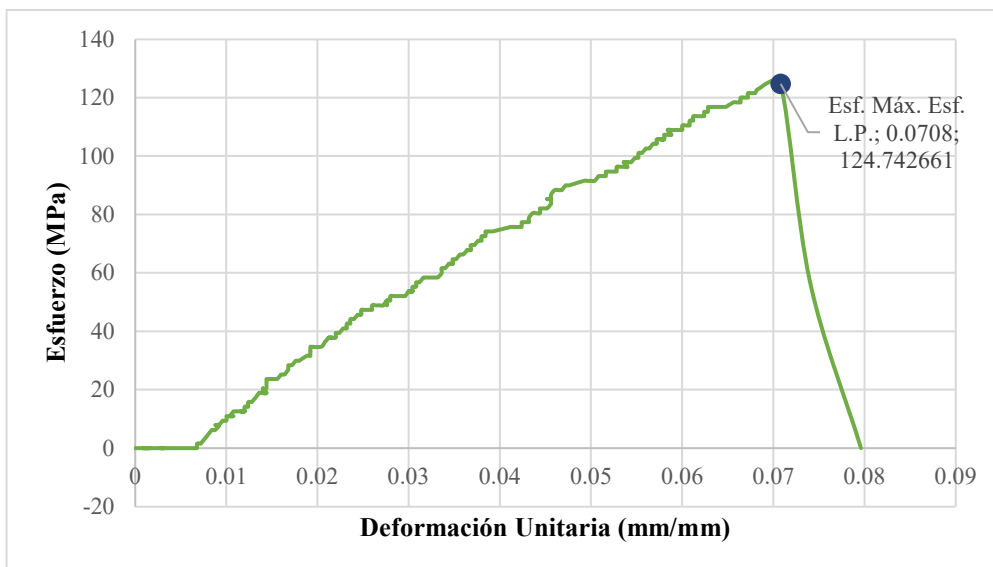


Figura 78. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TQ3, de madera de capulí del cantón Quero

Fuente: Autoría Propia

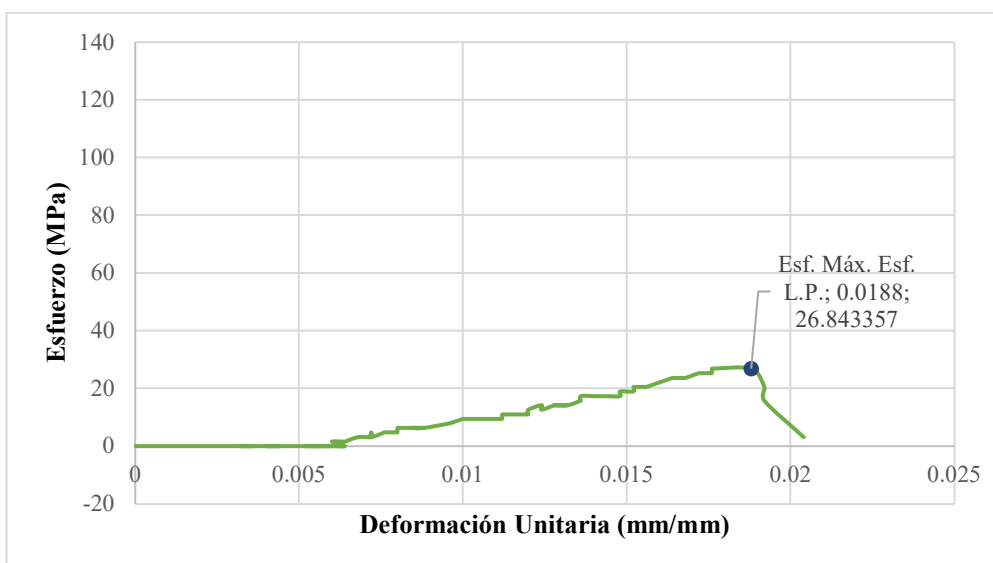


Figura 79. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TQ4, de madera de capulí del cantón Quero

Fuente: Autoría Propia

Tabla 81. Resistencia a la tracción y deformación unitaria de la madera de capulí del cantón Tisaleo

CANTÓN: TISALEO			
N.- de Probeta	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	DEFORMACIÓN UNITARIA
#	N	Mpa	mm / mm
TT1	2506.38	53.77	3.84E-02
TT2	2845.08	61.04	3.56E-02
TT3	2987.33	64.09	4.69E-02
TT4	2777.34	59.59	3.34E-02
TT5	2845.08	61.04	3.12E-02
TT6	3319.26	71.21	4.36E-02

Fuente: Autoría Propia

Tabla 82. Módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí del cantón Tisaleo

N.- de Probeta	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ESFUERZO ADMISIBLE Mpa
TT1	1400.37	25.61
TT2	1714.63	29.07
TT3	1365.71	30.52
TT4	1784.05	28.37
TT5	1956.44	29.07
TT6	1633.35	33.91
PROMEDIO	1642.42	29.42

Fuente: Autoría Propia

La resistencia a la tracción superior que presento la madera de capulí fue de 71.21 Mpa y la inferior fue de 53.77 Mpa, las mismas que presentaron una variación de 0.17% entre ambos resultados.

El valor del módulo de elasticidad promedio que obtuvo la madera de capulí del cantón Tisaleo fue de 1642.42 Mpa y un esfuerzo admisible de 29.40 Mpa.

Las figuras 80 y 81, presentan la gráfica esfuerzo vs deformación de las probetas TT6 y TT1, las mismas que alcanzaron la resistencia a la tracción máxima y mínima, en comparación de las demás probetas empleadas en el ensayo mecánico.

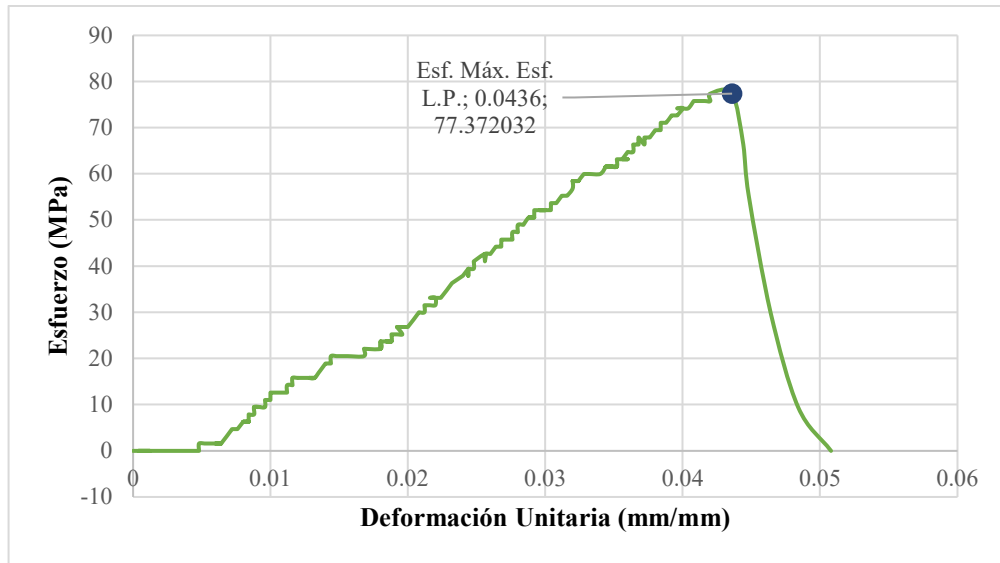


Figura 80. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TT6, de madera de capulí del cantón Tisaleo

Fuente: Autoría Propia

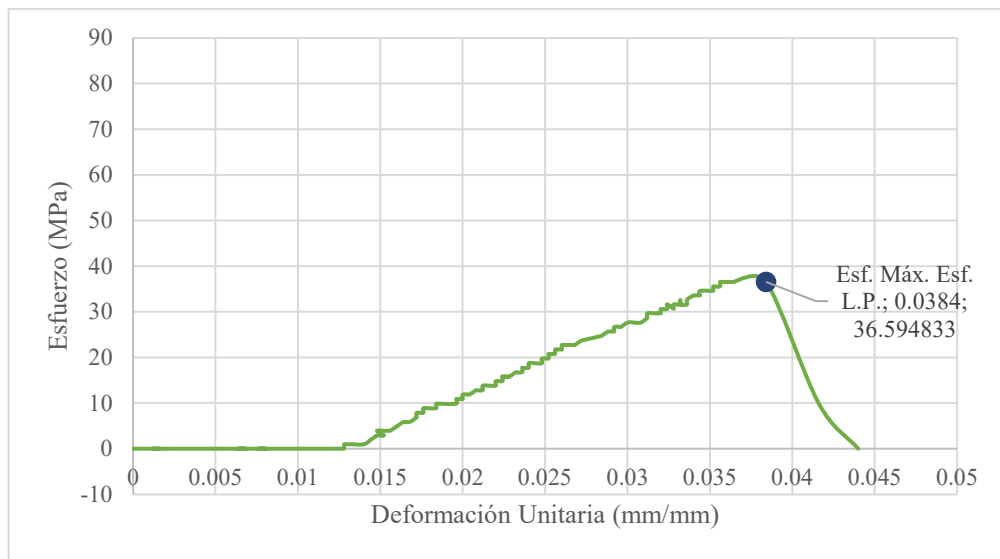


Figura 81. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria de la probeta TT1, de madera de capulí del cantón Tisaleo

Fuente: Autoría Propia

Los valores de los módulos de elasticidad no clasifican a ningún grupo estructural, sin embargo los esfuerzos admisibles obtenidos superan el rango especificado en la normativa, ya que para tracción paralela el valor del esfuerzo admisible es 10.5 Mpa.

- **Relación del contenido de humedad**

El comportamiento de la madera está directamente relacionado por el contenido de humedad que esta posea, es indispensable reducir el contenido de humedad antes de realizar los respectivos ensayos mecánicos.

En la tabla 83, se muestra el módulo de elasticidad que se obtuvo a tracción paralela a la fibra y el contenido de humedad.

Tabla 83. Módulo de elasticidad y contenido de humedad

CANTÓN	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	CONTENIDO DE HUMEDAD %
AMBATO	2066.25	14.03
CEVALLOS	1100.24	15.91
MOCHA	2047.57	14.76
PELILEO	1352.46	15.24
PÍLLARO	1383.04	16.29
QUERO	1504.39	14.87
TISALEO	1642.42	14.94

Fuente: Autoría Propia

Los cantones Ambato, Mocha, Quero y Tisaleo, presentaron los valores más representativos del módulo de elasticidad, los cuales presentaron un contenido de humedad de 14.03%, 14.76 %, 14.87% y 14.94%. Sin embargo, los cantones Cevallos, Pelileo y Santiago de Píllaro, presentaron humedades de 15.91%, 15.24% y 16.29, alcanzando valores inferiores en el módulo de elasticidad.

- **Fallas evidenciadas en tracción paralela**

Las fallas que se produjeron en las probetas en tracción paralela son: a) Tensión cortes limpios, b) Combinados de tensión y corte, c) Tensión cortante y d) Tensión frágil.








En la tabla 84 y 85, se presentan las fallas producidas en las probetas sometidas a el ensayo de tracción paralela a la fibra.

Tabla 84. Fallas generadas en las probetas de tracción paralela

CANTÓN: AMBATO						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	a	b	d	b	a	a
CANTÓN: CEVALLOS						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	a	c	d	c	a	d
CANTÓN: MOCHA						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	a	c	c	b	a	a
CANTÓN: PELILEO						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	b	c	a	b	c	a
CANTÓN: SANTIAGO DE PÍLLARO						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	a	b	b	a	a	a
CANTÓN: QUERO						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	b	a	a	c	b	a
CANTÓN: TISALEO						
# DE PROBETA	1	2	3	4	5	6
TIPO DE FALLA	b	a	c	c	b	a

Fuente: Autoría Propia

Tabla 85. Ilustraciones de las fallas producidas en las probetas sometidas a tracción paralela



AMBATO	CEVALLOS	MOCHA	PELILEO
			
SANTIAGO DE PÍLLARO	QUERO		TISALEO
			

Fuente: Autoría Propia

1.1.2.3.Evaluación comparativa

Considerando los módulo de elasticidad y esfuerzos admisibles obtenidos mediante los ensayos mecánicos, se elaboró una tabla comparativa de los resultados conseguidos.

Tabla 86. Módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de la madera de capulí sometida a flexión estática.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
PROYECTO DE TITULACIÓN “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA Y FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA DE LA MADERA DE CAPULÍ, PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015) “				
FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA				
CANTÓN	MÓDULO DE ELASTICIDAD	UNIDAD	ESFUERZO ADMISIBLE	UNIDAD
AMBATO	9318.44	Mpa	30.35	Mpa
CEVALLOS	6689.38	Mpa	25.08	Mpa
MOCHA	8390.12	Mpa	31.41	Mpa
PELILEO	7154.72	Mpa	25.88	Mpa
PÍLLARO	6226.03	Mpa	19.36	Mpa
QUERO	8214.21	Mpa	30.82	Mpa
TISALEO	8019.99	Mpa	25.37	Mpa

Fuente: Autoría Propia

La madera de capulí perteneciente a los cantones Ambato, Mocha, Quero y Tisaleo, presentaron una mejor capacidad de resistir los esfuerzos sin deformarse, es decir mostro una mayor rigidez en comparación a la madera perteneciente a los cantones Cevallos, Pelileo y Santiago de Píllaro las mismas que obtuvieron valores de deformación altos en comparación a los otros cantones.

El máximo valor del módulo de elasticidad a nivel cantonal se encontró en el cantón Ambato, con un MOE que fue de 9318.44 Mpa, mientas que el valor mínimo perteneció a el cantón Santiago de Píllaro, con 6226.03 Mpa.

La figura 82, representa los valores de los módulos de elasticidad de cada uno de los cantones pertenecientes a la Provincia de Tungurahua.

El máximo valor de esfuerzo admisible a nivel cantonal se encontró en el cantón Mocha, con un valor que fue de 31.41 Mpa, mientras que el mínimo valor se encontró en el cantón Santiago de Pillaro el cual fue de 19.36 Mpa.

La figura 83, expone los esfuerzos admisibles de cada uno de los cantones pertenecientes a la provincia de Tungurahua.

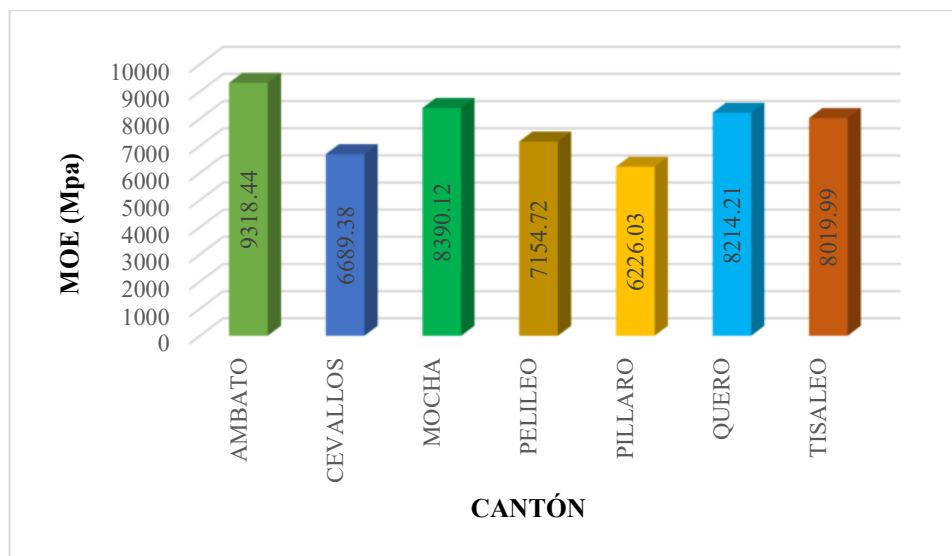


Figura 82. Módulo de elasticidad a nivel cantonal de la provincia de Tungurahua

Fuente: Autoría Propia

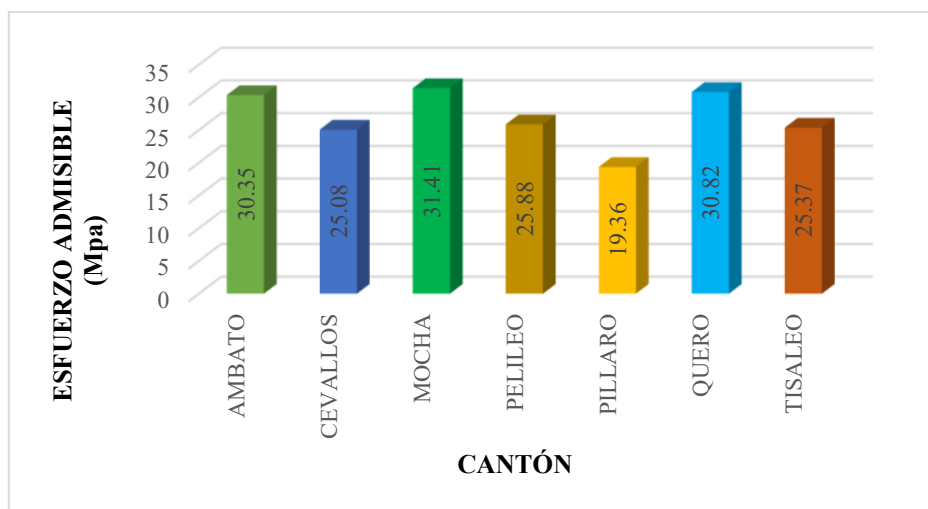


Figura 83. Esfuerzo admisible a nivel cantonal de la provincia de Tungurahua

Fuente: Autoría Propia

Con fin investigativo se comparó los resultados de otras investigaciones, para determinar si la madera de capulí, supera o no, los módulos de elasticidad de maderas que en la actualidad se emplean como material estructural.

Tabla 87. Contenido de humedad, módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de especies maderables sometidas a flexión estática

ESPECIE	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	M. DE ELASTICIDAD Mpa	ESF. ADMISIBLE	REFERENCIA
CAPULÍ (CANTÓN AMBATO)	14.03	9318.44	30.35	Autoría Propia
ABÍO	1.87	11617	37.78	[42]
CIPRES	2.35	5456	14.55	
COLORADO	2.66	8322	22.55	
PINO	1.55	7269	27.46	
SEIQUE	2.85	6808	21.66	
EUCALIPTO	1.25	12426	40.74	

Fuente: Autoría Propia

La madera de capulí con un proceso de secado natural presento un contenido de humedad superior, a comparación de las especies de Ciprés, Colorado, Pino, y Seique, las cuales pasaron por un proceso de secada al horno. Sin embargo, se observa que la madera de capulí, sobrepaso los valores del módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de Ciprés, Colorado, Pino, y Seique, las cuales tuvieron un proceso de secado al horno y son maderas que en la actualidad se emplean en el sector de la construcción.

A pesar de ello, la madera de Eucalipto y Abío, superaron el módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de la madera de capulí.

En las figuras 84 y 85, se representa los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de las especies maderables.

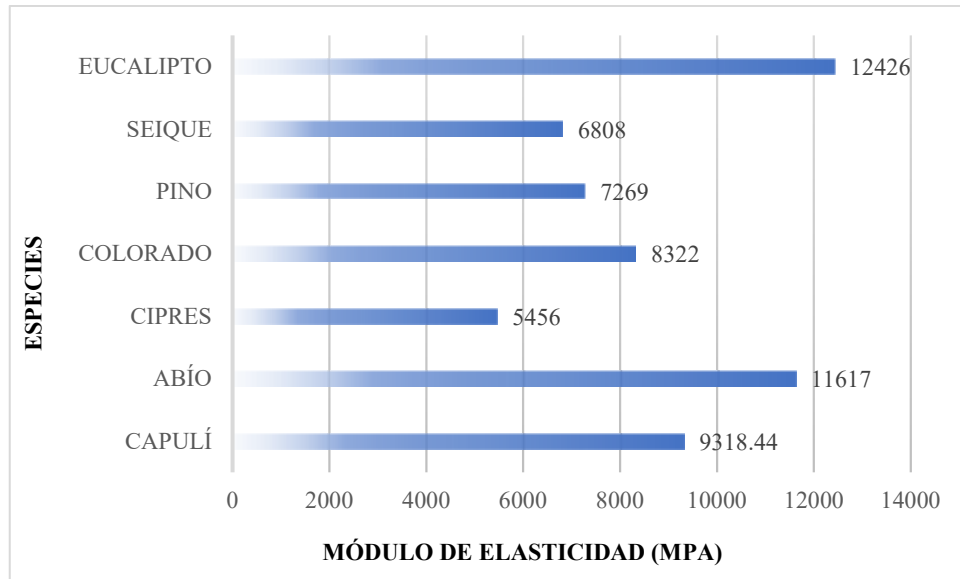


Figura 84. Módulos de elasticidad de especies maderables

Fuente: Autoría Propia

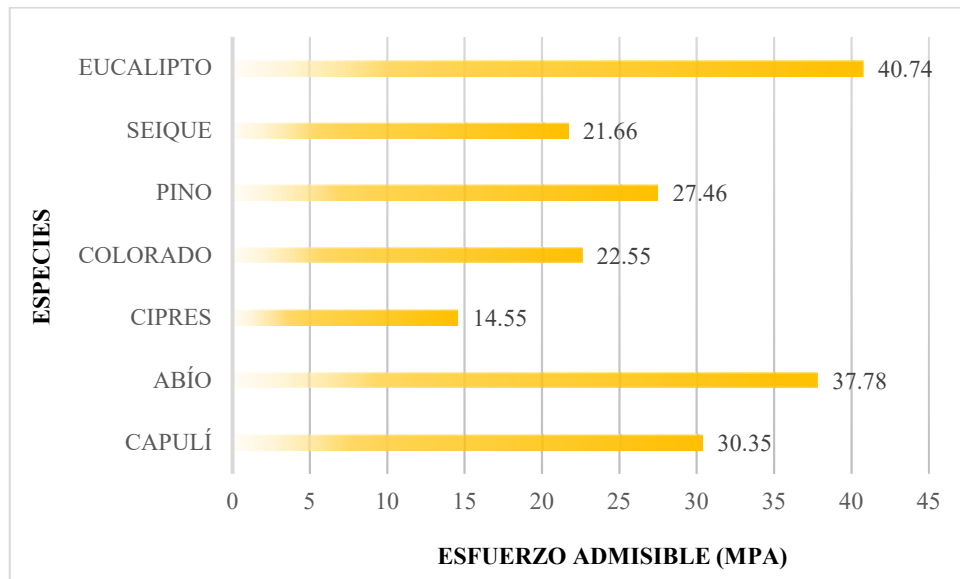


Figura 85. Esfuerzo admisible de especies maderables

Fuente: Autoría Propia

En la figura 86 se observa el mapa de la provincia de Tungurahua, junto con los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de flexión estática.

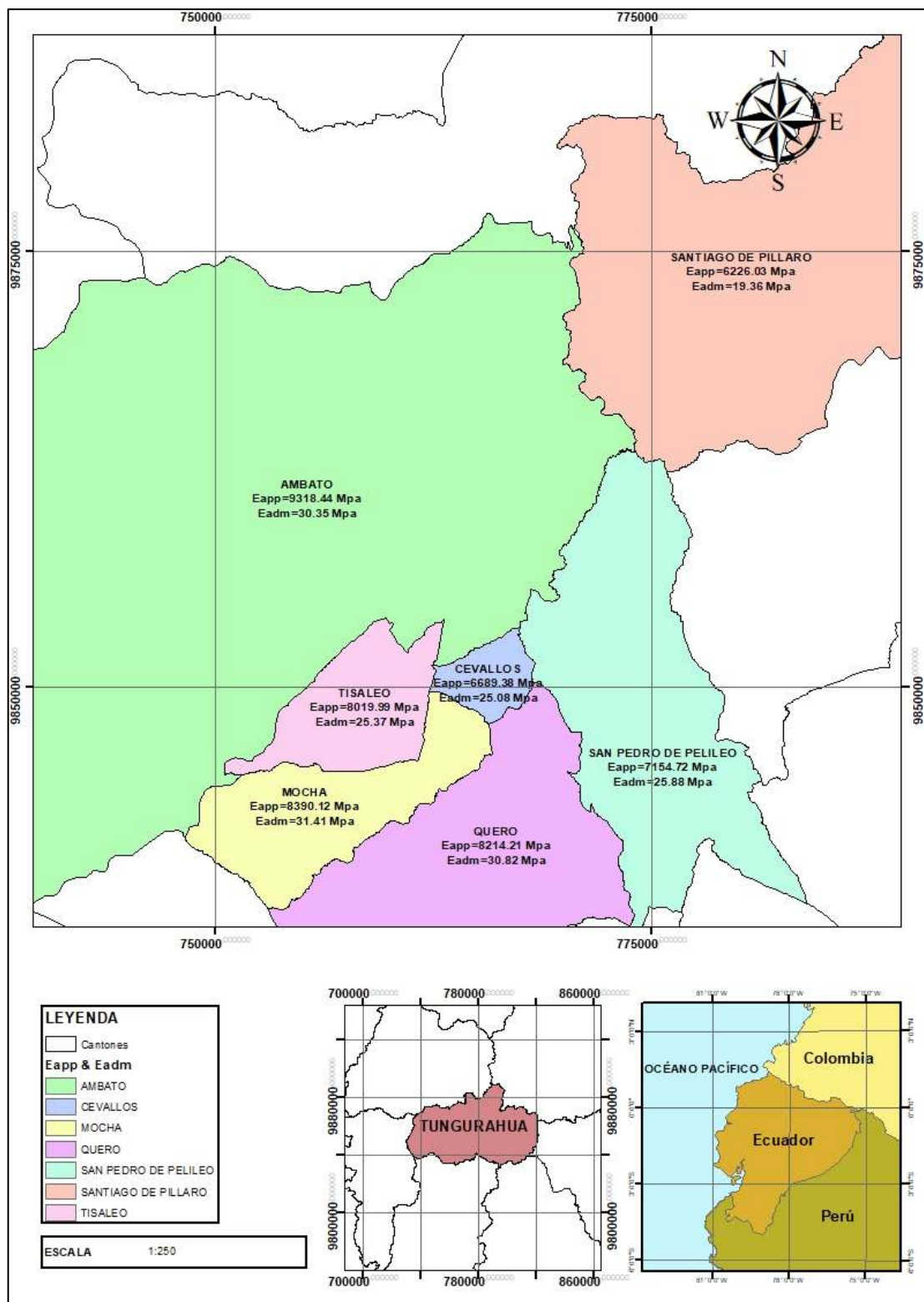



Figura 86. Mapa de zonificación del módulo de elasticidad a flexión estática

Fuente: Autoría Propia

Tabla 88. Módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de la madera de capulí sometida a tracción paralela a la fibra

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
PROYECTO DE TITULACIÓN				
“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA Y FLEXIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA DE LA MADERA DE CAPULÍ, PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015) “				
TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA				
CANTÓN	MÓDULO DE ELASTICIDAD	UNIDAD	ESFUERZO ADMISIBLE	UNIDAD
AMBATO	2066.25	Mpa	30.85	Mpa
CEVALLOS	1100.24	Mpa	19.69	Mpa
MOCHA	2047.57	Mpa	42.22	Mpa
PELILEO	1352.46	Mpa	23.45	Mpa
PÍLLARO	1383.04	Mpa	38.06	Mpa
QUERO	1504.39	Mpa	32.76	Mpa
TISALEO	1642.42	Mpa	29.42	Mpa

Fuente: Autoría Propia

Los cantones Ambato, Mocha y Tisaleo, presentaron los valores más altos del módulo de elasticidad, es decir presentaron mayor firmeza a la deformación en respuesta a la fuerza que se aplicó, en comparación con los cantones Cevallos, Pelileo, Píllaro y Quero.

El valor del módulo de elasticidad máximo fue el perteneciente al cantón Ambato con un valor de 2066.25 Mpa mientras que el mínimo se encontró en el cantón Cevallos con 1100.24 Mpa.

En la figura 87 y 88, se presenta los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de los cantones en estudio, pertenecientes a la provincia de Tungurahua.

Además, el esfuerzo admisible supremo se localizó en el cantón Mocha con un valor de 42.22 Mpa, mientras que el valor mínimo se encontró en el cantón Cevallos con 19.69 Mpa.

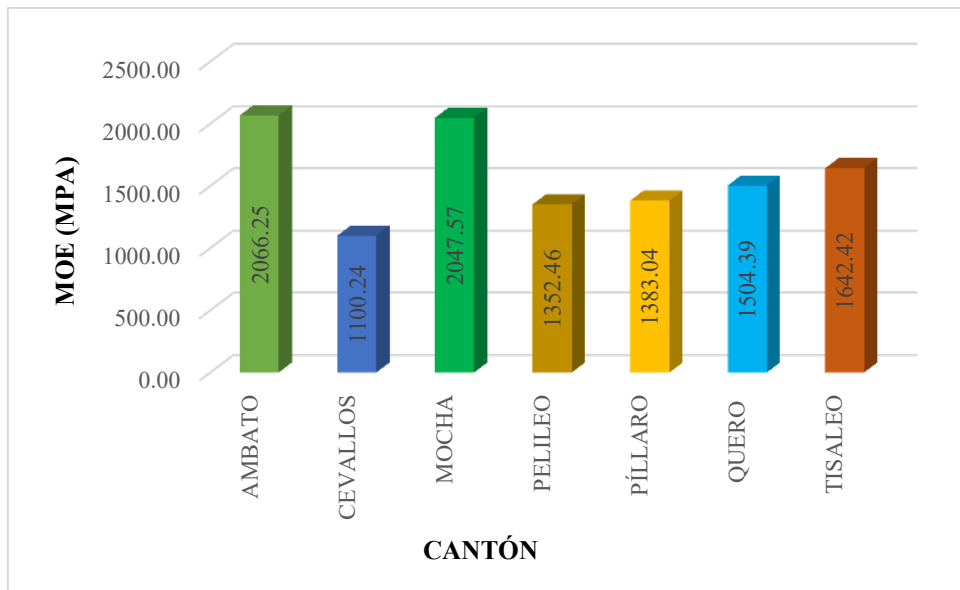


Figura 87. Módulo de elasticidad a nivel cantonal de la provincia de Tungurahua

Fuente: Autoría Propia

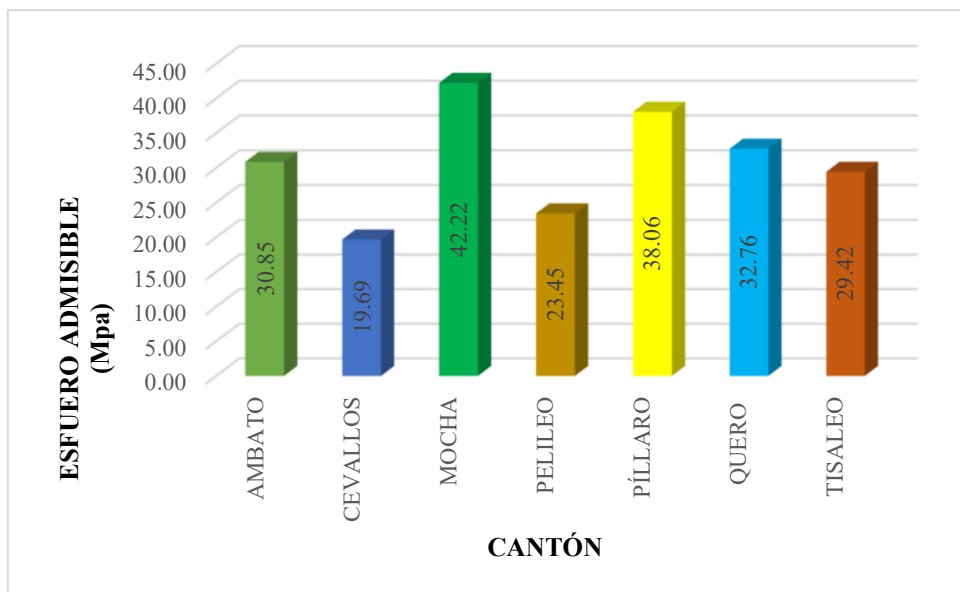


Figura 88. Esfuerzo admisible a nivel cantonal de la provincia de Tungurahua

Fuente: Autoría Propia

Con fin investigativos, se comparó los resultados de la madera de capulí y otras especies maderables que se emplean como material estructural en la actualidad.

Tabla 89. Contenido de humedad, módulo de elasticidad y esfuerzo admisible de especies maderables sometidas a tracción perpendicular a la fibra

ESPECIE	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	M. DE ELASTICIDAD Mpa	ESF. ADMISIBLE	REFERENCIA
CAPULÍ (CANTÓN AMBATO)	14.03	2066.25	30.85	Autoría Propia
ABÍO	2.07	2834	55.47	[42]
CIPRES	1.73	1258	29.21	
COLORADO	1.80	1983	48.11	
PINO	1.35	1415	38.29	
SEIQUE	2.39	1256	21.56	
EUCALIPTO	2.62	2375	47.94	

Fuente: Autoría Propia

Se observa que el módulo de elasticidad de la madera de capulí es mayor a los módulos de las especies de Ciprés, Colorado, Pino y Seique, es decir presenta una mejor capacidad de resistencia, mientras que el esfuerzo admisible solo supero a las especies de Ciprés y Seique.

Las figuras 89 y 90, presentan los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de las especies maderables, al someterse a tracción paralela a la fibra.

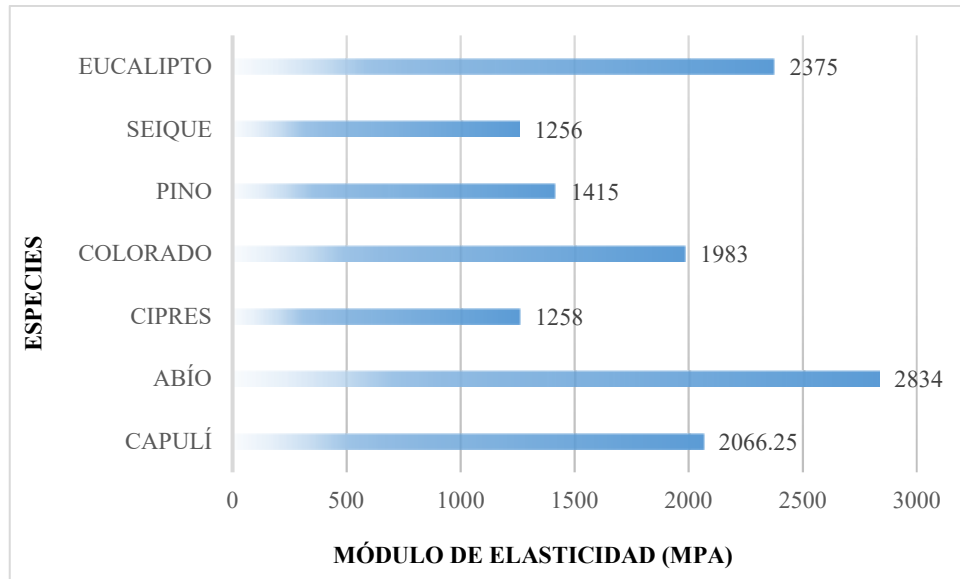


Figura 89. Módulos de elasticidad de especies maderables

Fuente: Autoría Propia

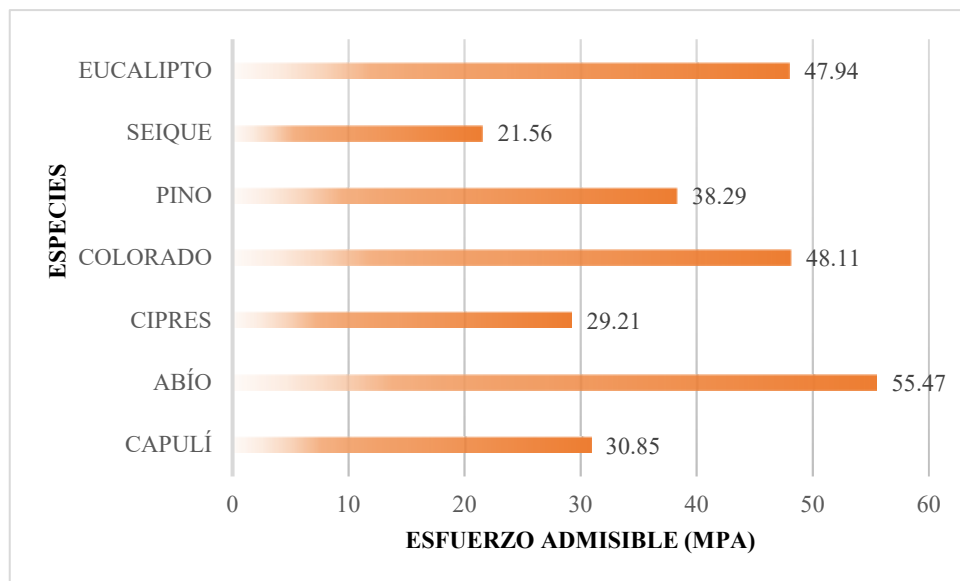


Figura 90. Esfuerzos admisibles de especies maderables

Fuente: Autoría Propia

En la figura 91 se observa el mapa de la provincia de Tungurahua, junto con los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles de tracción paralela a la fibra.

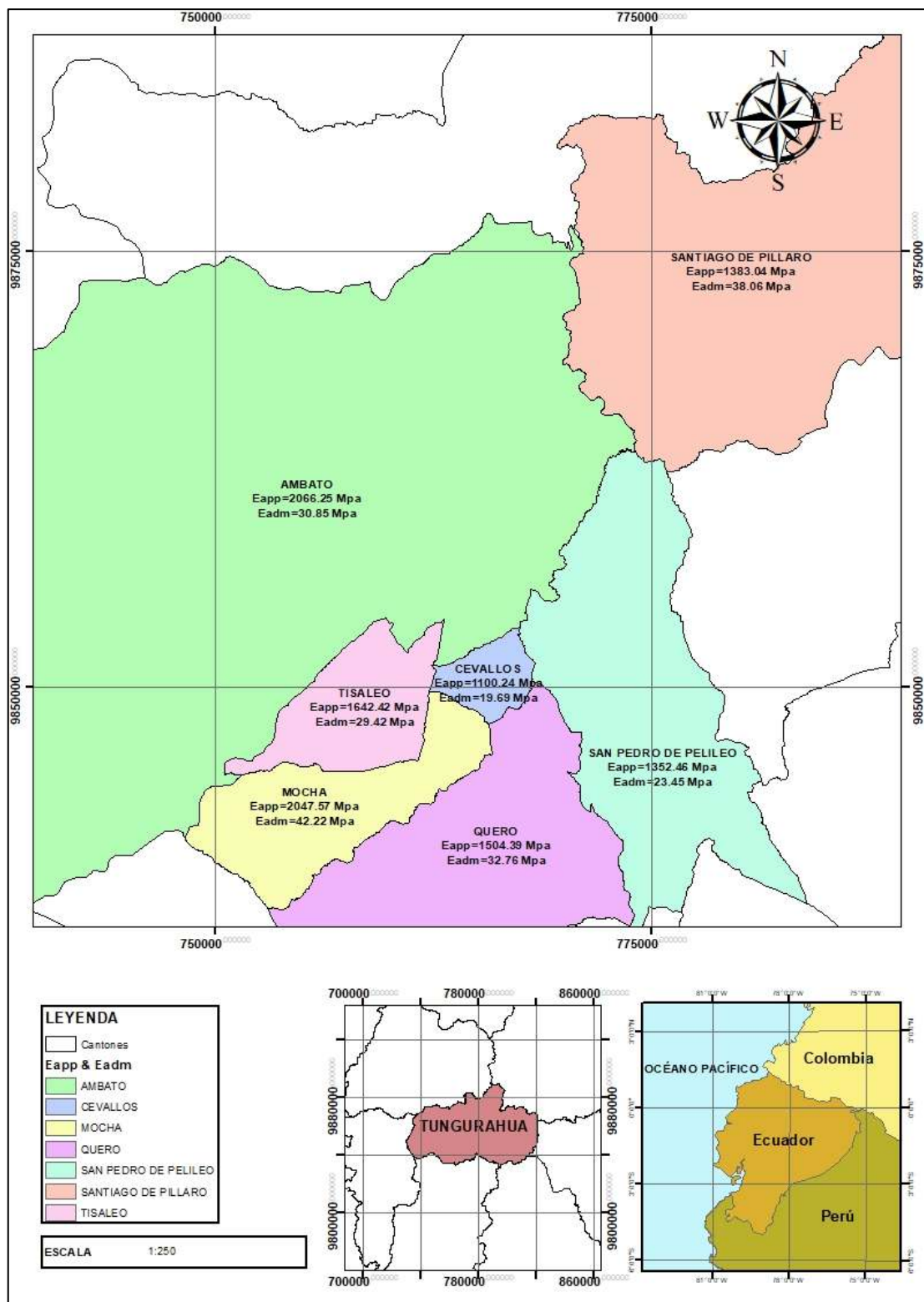


Figura 91. Mapa de zonificación del módulo de elasticidad a tracción paralela

Fuente: Autoría Propia

1.2.Verificación de Hipótesis

Tras haber ejecutado los ensayos mecánicos: tracción paralela y flexión perpendicular, y consecuente a ello, determinado el módulo de elasticidad de la madera de capulí, se demostró que la madera puede ser empleada como material estructural, ya que los valores obtenidos cumplen con el valor mínimo para el dimensionamiento de elementos en flexión, y los esfuerzos admisibles superan los valores mencionados en la norma NEC-SE-MD.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.3.Conclusiones

- Tras haber realizado la estructuración de 84 probetas de madera de capulí distribuidas en los cantones Ambato, Cevallos, Mocha , Pelileo , Píllaro, Quero y Tisaleo, basados en la normativa internacional ASTM D143-94, de las 84 probetas destinadas a los ensayos mecánicos , 6 de cada cantón fueron utilizadas para en el ensayo de flexión perpendicular a la fibra y 6 para en el ensayo de tracción paralela, los mismos que se efectuaron en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil previo a un proceso de secado natural de 7 meses.
- Después de haber determinado el contenido de humedad en estado verde o madera recién cortada de la madera de capulí, se concluyó que la madera perteneciente a los cantones, Ambato, Cevallos, Mocha, Pelileo, Píllaro, Quero y Tisaleo, poseen un contenido superior al 35% como menciona la norma NEC-SE-MD 2015, sin embargo, el mayor porcentaje de contenido de humedad verde se encontró en el cantón Cevallos con un valor de 107.01% y el menor en el cantón Mocha con 43.01%.
- Luego de haber definido el contenido de humedad en estado seco de la madera de capulí, se determinó que el contenido promedio de la madera, proveniente del cantón Ambato, Cevallos, Mocha, Pelileo, Santiago de Píllaro, Quero y Tisaleo, fue de 14.03%, 15.91%,14.76%,15.24%,16.29%,14.87% y 14.94% respectivamente, el mayor contenido de humedad se presentó en el cantón Santiago de Píllaro y el menor en el cantón Ambato con 14.03%.
- Después de haber determinado la propiedad mecánica tracción paralela a la fibra, se concluyó que el módulo de elasticidad y esfuerzo admisible para los cantones Ambato, Cevallos, Mocha, Pelileo, Santiago de Píllaro, Quero y Tisaleo fueron de: 9318.44 Mpa – 30.35 Mpa, 6689.38 Mpa – 25.08 Mpa, 8390.12 Mpa – 31.41 Mpa, 7154.72 Mpa – 25.88 Mpa, 6226.03 Mpa – 19.36 Mpa, 8214.21 Mpa – 30.82 Mpa, 8019.99 Mpa – 25.37 Mpa, respectivamente.
- Una vez determinada la propiedad mecánica flexión perpendicular a la fibra, se concluyó que el módulo de elasticidad y el esfuerzo admisible para los cantones Ambato, Cevallos, Mocha, Pelileo, Santiago de Píllaro, Quero y

Tisaleo fueron de: 2066.25 Mpa – 30.85 Mpa, 1100.24 Mpa – 19.69 Mpa, 2047.57 Mpa – 42.22 Mpa, 1352.46 Mpa – 23.45 Mpa, 1504.39 Mpa – 32.76 Mpa, 1383.04 Mpa – 38.06 Mpa, 1642.42 Mpa – 29.42 Mpa, respectivamente.

- Para la correcta interpretación de resultados se realizó una tabla comparativa de los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles, obtenidos mediante los ensayos mecánicos tracción paralela y flexión estática ,de los cantones Ambato, Cevallos, Mocha, Pelileo, Santiago de Píllaro, Quero y Tisaleo, donde se concluyó que el cantón Ambato posee el módulo de elasticidad a flexión estática más alto y el cantón Santiago de Píllaro el más bajo , en cuanto a esfuerzos admisibles el cantón Mocha presento el valor mayor y el cantón Santiago de Píllaro el valor menor , sin embargo , el cantón Ambato presentó el máximo valor del módulo de elasticidad obtenido mediante el ensayo mecánico de tracción , y el cantón Cevallos el valor menor, en relación a los esfuerzos admisibles el cantón Mocha obtuvo el mayor valor y el cantón Cevallos el menor.
- Se concluyó que la madera de capulí del cantón Ambato presenta las mejores características mecánicas y por ende aumenta el grado de comercialización de esta, ya que la escasa información de esta madera produce que su cultivo y mercantilización sean escasos.
- Tras haber determinado la densidad básica y los módulos de elasticidad, se concluyó que la madera de capulí es una madera semidura y puede ser empleada como material estructural.
- Tras haber realizado visitas de campo a los cantones pertenecientes a la provincia de Tungurahua, se evidencio que el árbol de capulí no crece en los cantones de Patate y Baños al ser cantones con climas primaverales.

1.4.Recomendaciones

- Se recomienda verificar que el proceso de fabricación y ensayos, de las probetas cumpla con los requerimientos de la normativa, ya que de esto dependerá que los resultados de los pruebas sean más precisos y confiables.
- Al momento de empezar el ensayo mecánico flexión estática, esperar 15 minutos para que la máquina de compresión SHIMADZU 2000X alcance su optima calibración.
- Se recomienda que la madera a emplearse en los ensayos mecánicos tenga un proceso de secado natural o al aire libre, ya que su costo es bajo y la generación de defectos es mínima, en comparación a el secado artificial donde se emplean hornos.
- Se recomienda emplear maderas con contenidos de humedad inferiores, ya que la resistencia mecánica de la madera se incrementa a medida que el contenido de humedad baja, al igual que su resistencia a el ataque de hongos.
- Al momento de talar los árboles de capulí, se recomienda seguir el calendario agrícola, ya este nos indica que en luna nueva y cuarto menguante toda la sabia almacenada en el árbol permanecerá en las raíces, lo que producirá que la madera no contenga tanta sabia y por ende el proceso de secado sea más rápido.
- Se recomienda emplear el módulo de elasticidad de la madera de capulí perteneciente al cantón Ambato, para futuros proyectos estructurales donde se empleará la madera en elementos estructurales.
- A futuros investigadores, se recomienda emplear otros equipos para determinar el contenido de humedad tales como el higrómetro el cual proporciona valores reales y confiables.
- Se recomienda al Ministerio de Desarrollo urbano y Vivienda (MIDUVI) y a la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON), actualizar la normativa NEC-SE-MD 2015 en base a nuestros estudios y ensayos, ya que los valores referenciales están tomados de la PADT REFORT del año 1984.

BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA

- [1] M. G. O. y. S. B. Ruíz, La madera como material para la construcción : Mitos , Realidades y Oportunidades, Chile , 2021.
- [2] J. F. Cruz, CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE Eucalyptus nitens PROCEDENTE DE PLANTACIONES PERTENECIENTES A LA EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI S.A., CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, Riobamba , 2019 .
- [3] D. Igartúa, K. Moreno, J. Piter y S. Monteoliva, DENSIDAD Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE Acacia melanoxylon IMPLANTADA EN ARGENTINA, Argentina : redalyc.org, 2015.
- [4] B. E. A. W. A. James Boakye Acheampong, PHYSICAL PROPERTIES OF PALMYRA PALM WOOD FOR SUSTAINABLE UTILIZATION AS A STRUCTURAL MATERIAL, Ghana: Maderas. Ciencia y tecnología, 2022.
- [5] F. R. ., I. M. y. J. P. Carlos Devia, Losas en madera como propuesta de solución al diseño y construcción de pavimentos, Bogotá: Colombia forestal, 2016.
- [6] M. Culasso, «LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL,» UNC.
- [7] D. Enríquez, Reforzamiento estructural para forjados de madera en edificaciones patrimoniales y contemporáneas, Cuenca, 2014.
- [8] Planificación estratégica transformación y comercialización de madera en el Ecuador, Quito, 2007.
- [9] J. Q. y. D. Saraguro, «ENCUESTA DE EDIFICACIONES 2018,» Quito, 2019.
- [10] L. G. y. M. Pacheco, «DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE CASAS DE INTERÉS SOCIAL EN MADERA PARA IMPLEMENTACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE CHÍA-COLOMBIA,» Bogotá, 2017.
- [11] M. d. D. U. y. Vivienda, Estructuras de Madera, Quito, 2014.
- [12] P. U. Brotóns, Construcción de estructuras de madera, San Vicente: ECU.
- [13] I. Forestal, Madera y Construcción, Chile , 2021.
- [14] E. A. Basauri, Introducción al conocimiento de la madera, Madrid, 2014.
- [15] J. A. y. E. Guzowski, Materiales y materias primas, Argentina , 2011.
- [16] M. S. Fe, «Estructura macroscópica de la madera,» 2020. [En línea]. Available: <https://madererasantafe.com/conoces-las-partes-de-la-madera-tronco/>. [Último acceso: 19 Sep. 2022].

- [17] J. C. d. León, Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera, México, 2011.
- [18] E. Zanni, Patología de la Madera, Córdoba: Brujas , 2004.
- [19] MIDUVI, Construcción con madera, Quito, 2011.
- [20] A. d. Cartajena, Manual de diseño para maderas del grupo andino, Lima: CAHVAJAL S.A., 1984.
- [21] C. d. T. Tecnológica, La Construcción de Viviendas en Madera, Chile : Corma .
- [22] «maderea,» [En línea]. Available: <https://www.maderea.es/la-desaparicion-de-las-traviesas-de-madera-en-vias-del-tren/>. [Último acceso: 30 10 2022].
- [23] U. N. d. I. Plata, Introducción a las estructuras de madera . Esfuerzos y Solicitaciones, Chile: UNLP, 2022.
- [24] «maderea,» [En línea]. [Último acceso: 9 Sep. 2022].
- [25] J. d. I. M. Jiménez, Influencia de la humedad de la madera en la evaluación de las propiedades mecánicas del pino silvestre mediante técnicas no destructivas, Madrid, 2011.
- [26] S.-s. d. p. f. e. e. Ecuador, Planificación Estratégica de Plantaciones Forestales en el Ecuador, Quito, 2007.
- [27] «ecuadorec,» [En línea]. Available: <https://ecuadorec.com/calendario-lunar-ecuador-luna-estamos/#:~:text=CALENDARIO%20LUNAR%202022&text=%E2%80%93%20Cuarto%20Creciente%3A%20En%20esta%20fase,hiervas%20y%20remover%20la%20tierra..> [Último acceso: 31 Oct 2022].
- [28] B. Maiztegui, «ArchDaily,» 3 May 2020. [En línea]. Available: <https://www.archdaily.cl/cl/938610/casas-de-madera-en-ecuador-uso-del-material-en-la-arquitectura-contemporanea>. [Último acceso: 22 Sep. 9].
- [29] M. d. Ambiente, PROPIEDADES ANATÓMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS DE 93 ESPECIES FORESTALES, Quito , 2014.
- [30] P. Urcuango, EVALUACIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO PARA LA MICROPROPAGACIÓN “IN VITRO” DE CAPULÍ (*Prunus serotina* ssp *capulí* Cav) A PARTIR DE SEGMENTOS NODALES., Quito, 2014.
- [31] M. Vaugh, *Prunus serotina*, Birronia , 1951.
- [32] L. Chisaguano, EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE TRES PRODUCTOS INDUCTORES DE BROTE EN CAPULÍ (*Prunus capulí*), COMUNIDAD QUILAJALÓ –SALCEDO – COTOPAXI 2010, Latacunga, 2010.
- [33] E. Andino, EVALUACIÓN DE CUATRO MÉTODOS DE ESCARIFICACIÓN Y DOS SUSTRATOS PARA LA OBTENCIÓN DE PLÁNTULAS DE CAPULÍ (*Prunus*




serotina Ehrh) EN EL CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO., Riobamba, 2018.

- [34] J. Flores, Estudio del capulí e introducción en la cocina de la sierra ecuatoriana, Quito, 2008.
- [35] «PRONATURA,» [En línea]. Available: https://revivemx.org/Fototeca/Arboles/Prunus_serotina/8_Fichas_de_venta/Capulin_v2.pdf. [Último acceso: 10 Oct 2022].
- [36] J. Sánchez, “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE EUCALIPTO (EUCALYPTUS), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015), Ambato, 2021.
- [37] A. International, ASTM standard (Standard Test Methods for small clear specimens of timber), West Conshohocken, 2000.
- [38] A. & G. V. Argueta, Atlas de la medicina tradicional mexicana, plantas medicinales, México : Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009.
- [39] K. M. C. Peralta, Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas, organolépticas y anatómicas, Loja, 2022.
- [40] A. Antonio, Características organolépticas, macroscópicas y propiedades físicas de *Prunus serotina*, Perú, 2017.
- [41] T. A. y. P. Carrión, Especies leñosas del Valle del Mataro, Perú, 2010.
- [42] C. E. C. Salinas, ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MADERA ESTRUCTURAL ECUATORIANA Y SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE VIVIENDA SOCIAL, Ambato, 2022.
- [43] C. d. I. T. d. I. Madera, Técnicas de secado de la madera, Perú: CITEXmadera.

ANEXOS

Fotografía 1	Fotografía 2
	
Codificación de las muestras de madera verde	Muestras de madera verde
Fotografía 3	Fotografía 4
	
Tronco de madera de capulí	Preparación de la madera de capulí

<p style="text-align: center;">Fotografía 5</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 6</p> 
<p style="text-align: center;">Colocación de muestras en el horno eléctrico</p>	<p style="text-align: center;">Visita de campo a depósitos de madera</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía 7</p>	<p style="text-align: center;">Fotografía 8</p>
	
<p style="text-align: center;">Árbol de capuli del cantón Ambato</p>	<p style="text-align: center;">Árbol de capuli del cantón Cevallos</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía9</p>	<p style="text-align: center;">Fotografía 10</p>
	

Árbol de capulí del cantón Mocha	Árbol de capulí del cantón Pelileo
Fotografía 11	Fotografía 12
	
Árbol de capulí del cantón Píllaro	Árbol de capulí del cantón Quero
Fotografía 13	
	
Árbol de capulí del cantón Tisaleo	



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



PROYECTO DE TITULACIÓN

DENSIDAD BÁSICA

#	CANTÓN	# DE MUESTRA	VOLUMEN (cm ³)
1	Ambato	CA3	45.59
2	Cevallos	CC3	41.53
3	Mocha	CM4	96.57
4	Pelileo	CP1	96.46
5	Santiago de Pillaro	CS1	36.00
6	Quero	CQ2	37.68
7	Tisaleo	CT3	30.40

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 reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

^{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

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.

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

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

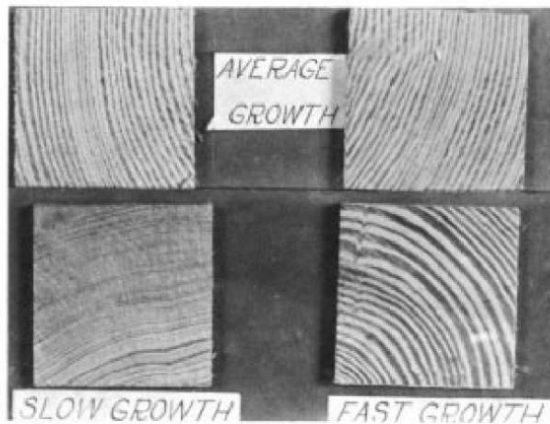


FIG. 1 Cross Sections of Bending Specimens Showing Different Rates of Growth of Longleaf Pine 2 by 2-in. (50 by 50-mm) Specimens



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

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

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

7. Record of Heartwood and Sapwood

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

8. Static Bending

8.1 *Size of Specimens*—The static bending tests shall be made on 2 by 2 by 30 in. (50 by 50 by 760 mm) primary

method specimens or 1 by 1 by 16 in. (25 by 25 by 410 mm) secondary method specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

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

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

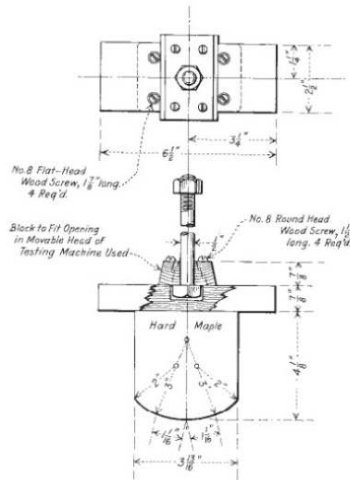


FIG. 4 Details of Bearing Block for Static Bending Tests

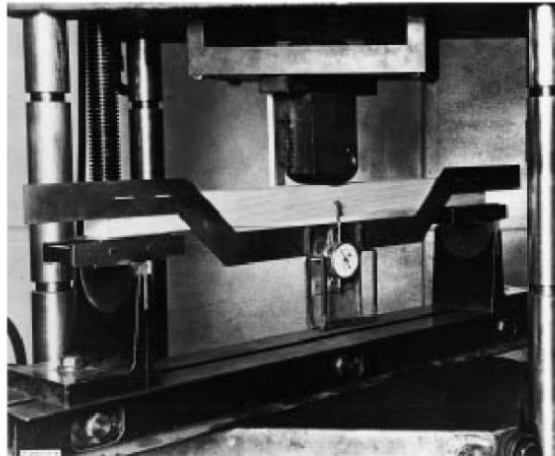


FIG. 3 Static Bending Test Assembly Showing Method of Load Application, Specimen Supported on Rollers and Laterally Adjustable Knife Edges, and Method of Measuring Deflection at Neutral Axis by Means of Yoke and Dial Attachment (Adjustable scale mounted on loading head is used to measure increments of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

primary method specimens. A block having a radius of 1½ in. (38 mm) for a chord length of not less than 2 in. (50 mm) shall be used for secondary method specimens.

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

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

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

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

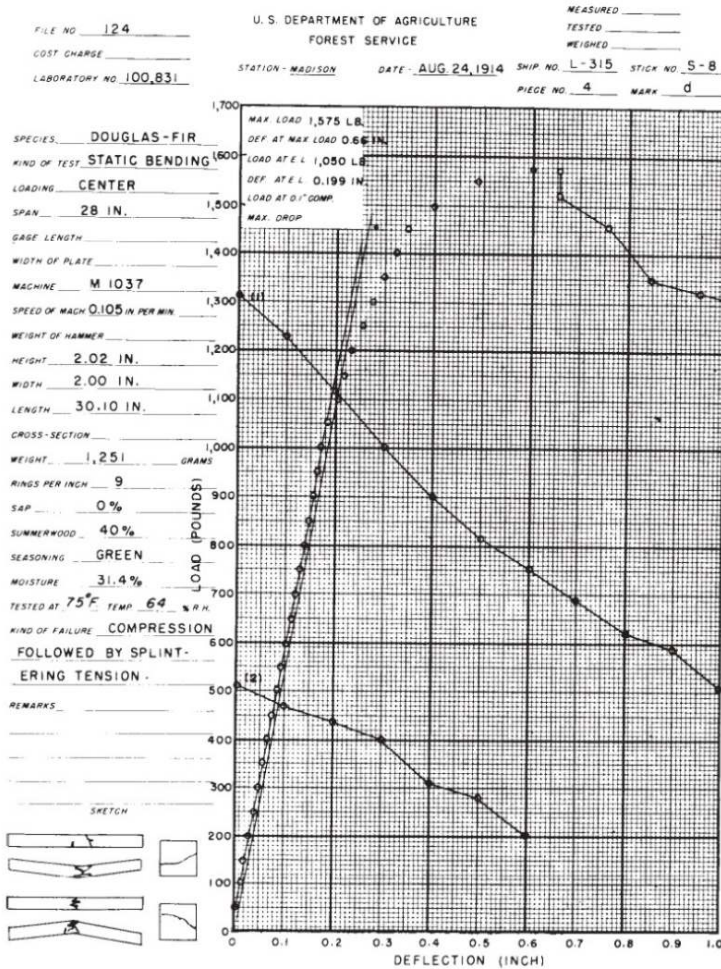
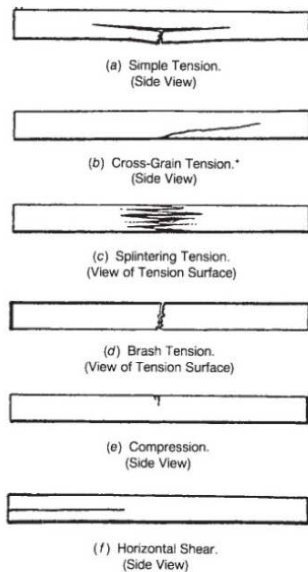


FIG. 5 Sample Data Sheet for Static Bending Test

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.

D 143 - 94 (2000)^{e1}

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

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 FOREST SERVICE

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

MEASURED _____
 TESTED _____
 WEIGHED _____

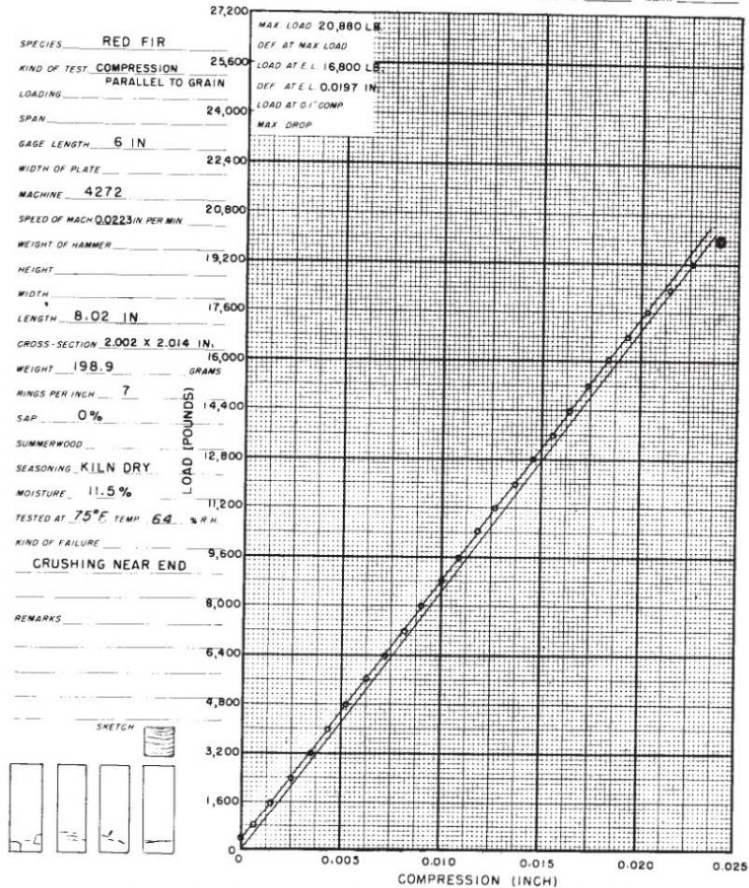


FIG. 7 Sample Data Sheet for Compression-Parallel-to-Grain Test

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.

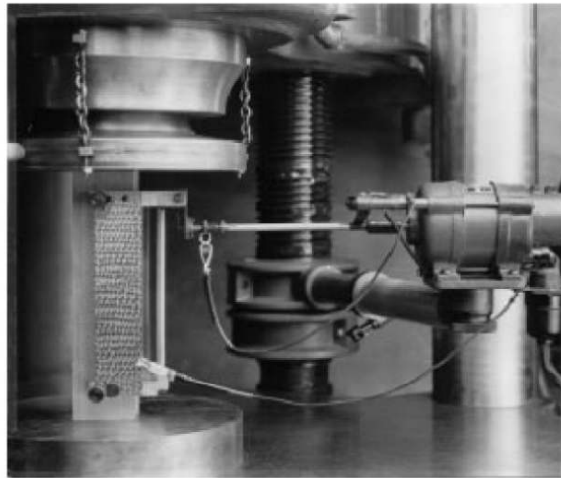


FIG. 8 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Using an Automatic Type of Compressometer to Measure Deformations (The wire in the lower right-hand corner connects the compressometer with the recording unit.)



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 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:

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

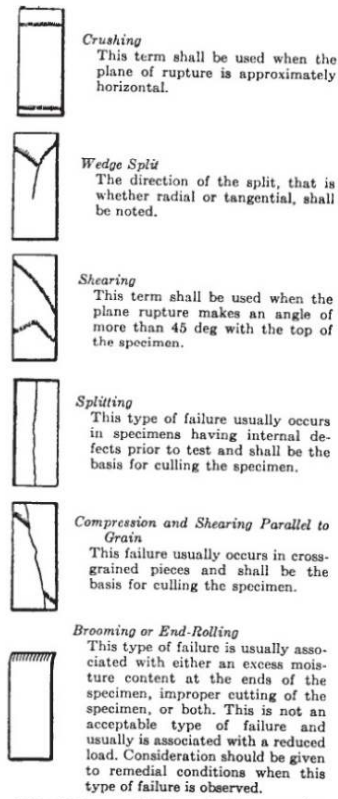


FIG. 10 Types of Failures in Compression

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).

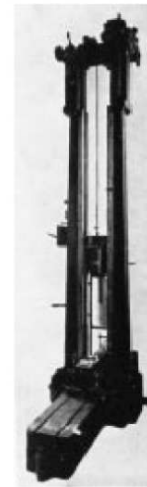


FIG. 11 Hatt-Turner Impact Machine, Illustrating Method of Conducting Impact Bending Test



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).

D 143 - 94 (2000)^{e1}

FILE NO. 124
 COST CHARGE _____
 LABORATORY NO. 10151

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 _____

SKETCH

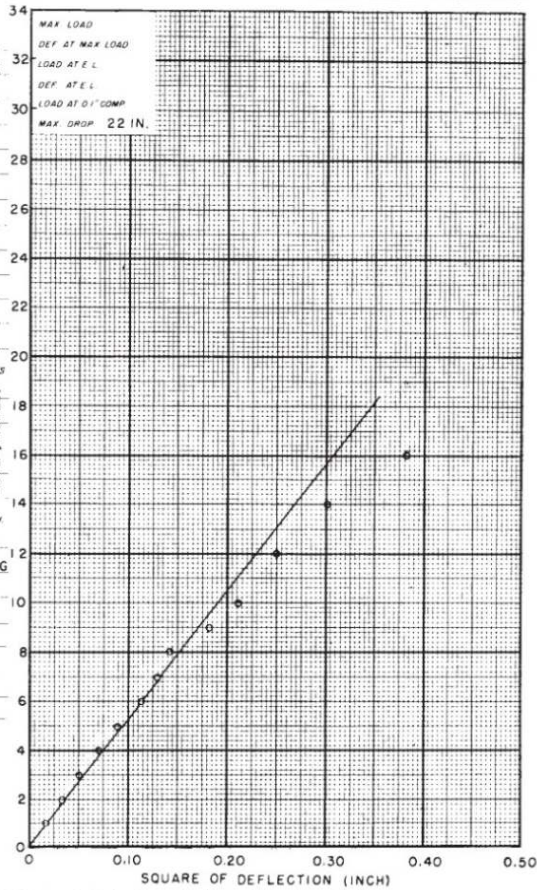
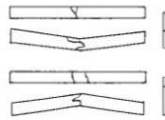


FIG. 13 Sample Data Sheet for Impact Bending Test

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).

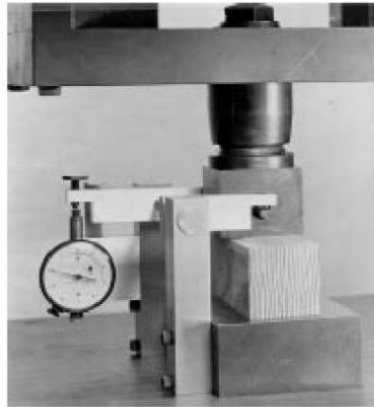


FIG. 17 Compression-Perpendicular-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application and Measurement of Deformation by Means of Averaging-Type Compressometer

15. Cleavage

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

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

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

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

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

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

16. Tension Parallel to Grain

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

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

16.3 *Procedure:*

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

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

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

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

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

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

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

17. Tension Perpendicular to Grain

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

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

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

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

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

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

18. Nail Withdrawal

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

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

18.2 *Preparation of Specimens*—Nails shall be driven at right angles to the face of the specimen to a total penetration of 1/4 in. (32 mm). Two nails shall be driven on a tangential surface, two on a radial surface, and one on each end. The choice between the two radial and two tangential surfaces shall be such as to give a fair average of the piece. On radial and tangential faces, the nails shall be driven a sufficient distance from the edges and ends of the specimen to avoid splitting. In general, nails should not be driven closer than 3/4 in. (19 mm) from the edge or 1 1/2 in. (38 mm) from the end of a piece. The two nails on a radial or tangential face should not be driven in line with each other or less than 2 in. (50 mm) apart.

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

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
 MEASURED
 TESTED
 WEIGHED
 PIECE NO. 4 MARK C

SPECIES RED FIR
 KIND OF TEST COMPRESSION
 LOADING PERPENDICULAR TO GRAIN
 SPAN 6,000
 GAGE LENGTH
 WIDTH OF PLATE 2 IN.
 MACHINE 4270
 SPEED OF MACH 0.012 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

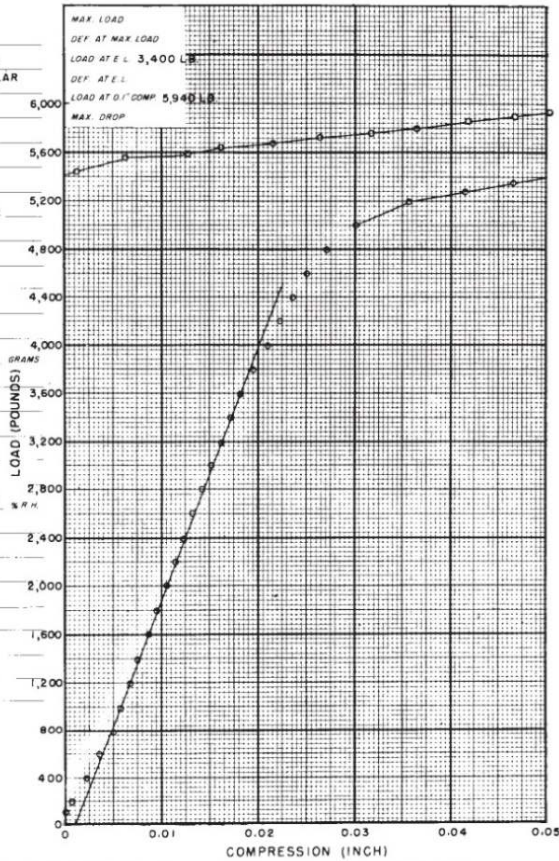


FIG. 18 Sample Data Sheet for Compression-Perpendicular-to-Grain Test

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.

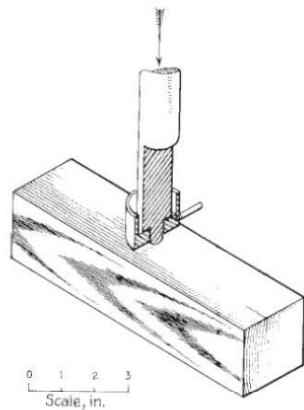


FIG. 19 Diagrammatic Sketch of Method of Conducting Hardness Test

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.



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

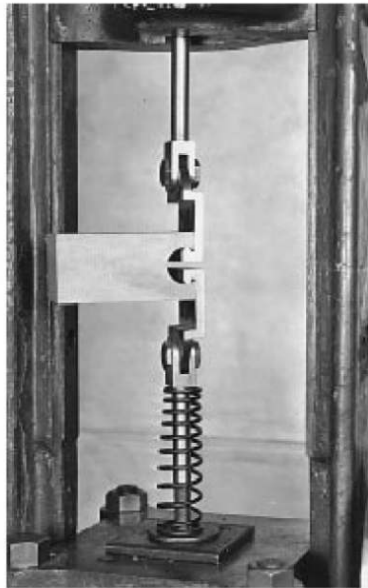
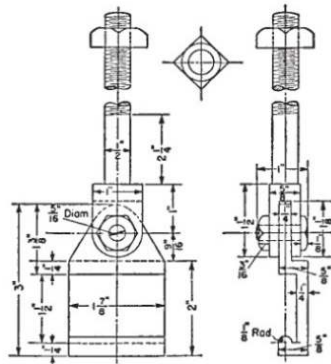


FIG. 25 Cleavage Test Assembly

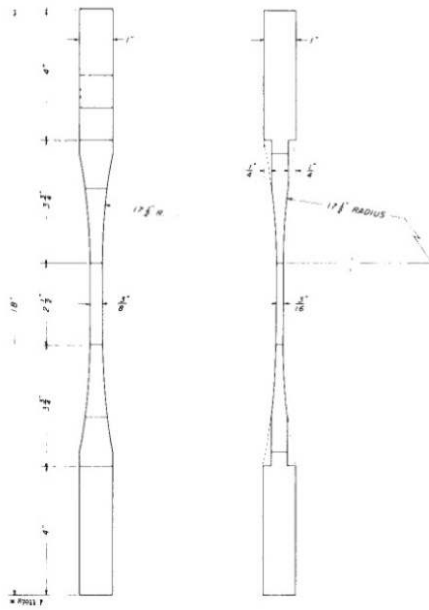


NOTE 1—Two pieces included in one set:
 One piece with shank 8 in. long.
 One piece with shank 5½ in. long.

Metric Equivalents			
in.	mm	in.	mm
¼	3	1½	35
¾	4.8	1½	38
¼	6	1¾	48
¾	8	2	50
½	13	2¼	57
¾	14	3	76
¾	16	5½	140
1	25	8	200
1½	28		

FIG. 26 Design Details of Grips for Cleavage Test

ASME D 143 – 94 (2000)^{e1}



		Metric Equivalents							
in.	3/16	1/4	3/8	1	2 1/2	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

D 143 - 94 (2000) e1

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
 PIECE NO. 22 MARK C

MEASURED _____
 TESTED _____
 WEIGHED _____

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

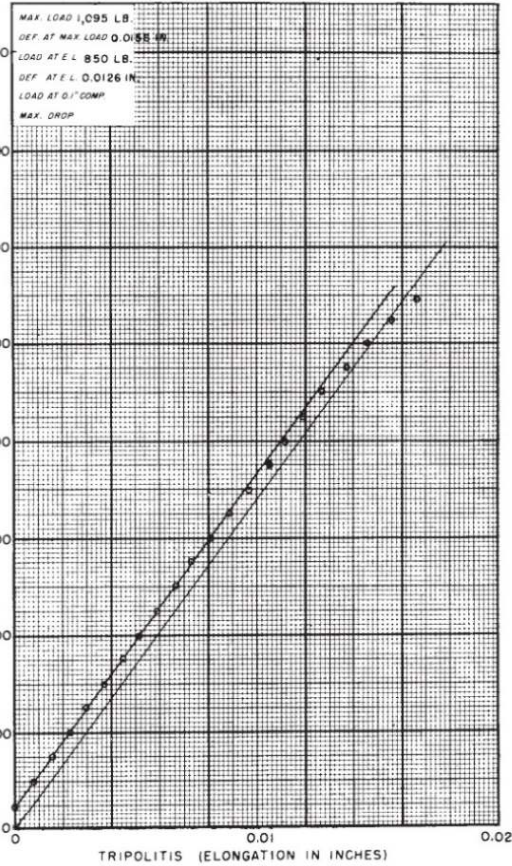
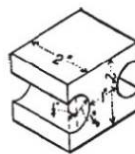


FIG. 30 Sample Data Sheet for Tension-Parallel-to-Grain Test



Metric Equivalents

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

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



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 896:2013
Segunda revisión

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

Primera edición

PLYWOOD AND WOOD FIBERS BOARDS. DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT

First edition

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

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	TABLEROS DE MADERA AGLOMERADA, CONTRACHAPADA Y DE FIBRAS DE MADERA (MDF) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	NTE INEN 896:2013 Segunda revisión 2013-06
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece el método para determinar el contenido de humedad de los tableros de madera aglomerada, contrachapada y de fibras de madera (MDF).</p> <p style="text-align: center;">2. DISPOSICIONES GENERALES.</p> <p>2.1 Estimación del contenido de humedad de un lote de tablero.</p> <p>2.1.1 El contenido de humedad de un tablero de un lote de tableros de madera aglomerada, contrachapada y de fibras de madera (MDF), se obtendrá calculando la media aritmética del contenido de humedad de todas las piezas de ensayo que conforman el lote de éstos.</p> <p style="text-align: center;">3. METODO DE ENSAYO</p> <p>3.1 Fundamento</p> <p>3.1.1 La pieza de ensayo debe someterse a secado hasta obtener una masa constante a una temperatura normalizada.</p> <p>3.2 Equipos</p> <p>3.2.1 <i>Balanza</i>, con una sensibilidad de 0,01g.</p> <p>3.2.2 <i>Estufa de secado</i>, capaz de mantener una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ con ventilación.</p> <p>3.2.3 <i>Desecador</i>, que debe contener gel de sílice, para mantener el aire lo más cerca posible a la condición de absolutamente seco.</p> <p>3.3 Preparación de la muestra</p> <p>3.3.1 <i>Toma de muestras</i>. El muestreo de las piezas de ensayo será de acuerdo a lo establecido en la NTE INEN 900.</p> <p>3.3.2 <i>Masa y dimensiones</i>. Realizar la prueba en piezas de ensayo de cualquier forma y dimensión con un área total de 100 cm^2 y una masa mínima de 20 g acondicionadas como se indica en la NTE INEN 895.</p> <p>3.4 Procedimiento</p> <p>3.4.1 Peso antes del secado</p> <p>3.4.1.1 Pesar o medir la masa la pieza de ensayo inmediatamente después del muestreo, con una aproximación de 0,01 g caso contrario se podría modificar su contenido de humedad inicial.</p> <p>3.4.2 Secado</p> <p>3.4.2.1 Una vez obtenida la masa de la pieza de ensayo introducirla en la estufa, donde se mantiene $103 \pm 2^\circ\text{C}$, hasta que alcance masa constante que se comprueba pesándola periódicamente hasta que el resultado de dos pesadas sucesivas no difieran en más del 1%.</p> <p>3.4.3 Peso después del secado</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p>		
<p>DESCRIPTORES: Maderas, tableros, madera aglomerada, contrachapada, fibras, determinación, humedad.</p>		

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

3.5 Cálculos

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

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

En donde

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

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

3.6 Expresión de resultados

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

3.7 Informe de resultados

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

- a) Nombre y dirección del laboratorio de ensayo.
- b) Informe del muestreo de acuerdo con la NTE INEN 900
- c) Fechas del ensayo y del informe
- d) Referencia a esta norma
- e) Tipo y espesor del tablero
- f) Especificaciones correspondientes del producto
- g) Tratamiento de la superficie si es importante
- h) Equipo específico usado, en caso de diferentes posibilidades permitidas en esta norma
- i) Resultados expresados,
- j) Todas las desviaciones de esta norma que puedan ocurrir

(Continúa)

APÉNDICE Z**Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR**

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

Z.2 BASES DE ESTUDIO

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

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

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 896 Segunda revisión	TÍTULO: TABLEROS DE MADERA AGLOMERADA, CONTRACHAPADA Y DE FIBRAS DE MADERA (MDF). DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	Código: AG: 08.01-302
ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 2005-08-25 Oficialización con el Carácter de Voluntaria por Acuerdo Ministerial No. 05785 de 2005-09-30 publicado en el Registro Oficial No. 127 de 2005-10-18 Fecha de iniciación del estudio: 2012-07-18	
Fechas de consulta pública: 2012-11-22 a 2012-12-22		

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

NOMBRES:

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

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

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

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

Otros trámites: Esta NTE INEN 896:2013 (Segunda revisión), reemplaza a la NTE INEN 896: 2005 (Primera revisión)

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

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

Por Resolución No. 13229 de 2013-06-05

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



Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes¹

This standard is issued under the fixed designation D198; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

INTRODUCTION

Numerous evaluations of structural members of sawn lumber have been conducted in accordance with Test Methods D198. While the importance of continued use of a satisfactory standard should not be underestimated, the original standard (1927) was designed primarily for sawn lumber material, such as bridge stringers and joists. With the advent of structural glued laminated (glulam) timbers, structural composite lumber, prefabricated wood I-joists, and even reinforced and prestressed timbers, a procedure adaptable to a wider variety of wood structural members was required and Test Methods D198 has been continuously updated to reflect modern usage.

The present standard provides a means to evaluate the flexure, compression, tension, and torsion strength and stiffness of lumber and wood-based products in structural sizes. A flexural test to evaluate the shear stiffness is also provided. In general, the goal of the D198 test methods is to provide a reliable and repeatable means to conduct laboratory tests to evaluate the mechanical performance of wood-based products. While many of the properties tested using these methods may also be evaluated using the field procedures of Test Methods D4761, the more detailed D198 test methods are intended to establish practices that permit correlation of results from different sources through the use of more uniform procedures. The D198 test methods are intended for use in scientific studies, development of design values, quality assurance, or other investigations where a more accurate test method is desired. Provision is made for varying the procedure to account for special problems.

1. Scope

1.1 These test methods cover the evaluation of lumber and wood-based products in structural sizes by various testing procedures.

1.2 The test methods appear in the following order:

	Sections
Flexure	4 – 11
Compression (Short Specimen)	13 – 20
Compression (Long Specimen)	21 – 28
Tension	29 – 36
Torsion	37 – 44
Shear Modulus	45 – 52

1.3 Notations and symbols relating to the various testing procedures are given in [Appendix X1](#).

1.4 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are mathematical conversions to SI units that are provided for information only and are not considered standard.

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

- D9 Terminology Relating to Wood and Wood-Based Products
- D1165 Nomenclature of Commercial Hardwoods and Softwoods
- D2395 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials
- D2915 Practice for Sampling and Data-Analysis for Structural Wood and Wood-Based Products
- D3737 Practice for Establishing Allowable Properties for Structural Glued Laminated Timber (Glulam)
- D4442 Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials

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

Current edition approved Sept. 1, 2015. Published December 2015. Originally approved in 1924. Last previous edition approved in 2014 as D198–14¹. DOI: 10.1520/D0198-15.

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

- D4761 Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material
- D7438 Practice for Field Calibration and Application of Hand-Held Moisture Meters
- E4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
- E2309 Practices for Verification of Displacement Measuring Systems and Devices Used in Material Testing Machines

3. Terminology

3.1 *Definitions*—See Terminology E6, Terminology D9, and Nomenclature D1165.

3.2 *Definitions: Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *composite wood member*—a laminar construction comprising a combination of wood and other simple or complex materials assembled and intimately fixed in relation to each other so as to use the properties of each to attain specific structural advantage for the whole assembly.

3.2.2 *depth (d)*—the dimension of the flexure specimen or shear modulus specimen that is perpendicular to the span and parallel to the direction in which the load is applied (Fig. 1).

3.2.3 *shear span*—two times the distance between a reaction and the nearest load point for a symmetrically loaded flexure specimen (Fig. 1).

3.2.4 *shear span-depth ratio*—the numerical ratio of shear span divided by depth of a flexure specimen.

3.2.5 *span (ℓ)*—the total distance between reactions on which a flexure specimen or shear modulus specimen is supported to accommodate a transverse load (Fig. 1).

3.2.6 *span-depth ratio (ℓ/d)*—the numerical ratio of total span divided by depth of a flexure specimen or shear modulus specimen.

3.2.7 *structural member*—sawn lumber, glulam, structural composite lumber, prefabricated wood I-joists, or other similar

product for which strength or stiffness, or both, are primary criteria for the intended application and which usually are used in full length and in cross-sectional sizes greater than nominal 2 by 2 in. (38 by 38 mm).

FLEXURE

4. Scope

4.1 This test method covers the determination of the flexural properties of structural members. This test method is intended primarily for members with rectangular cross sections but is also applicable to members with round and irregular shapes, such as round posts, pre-fabricated wood I-joists, or other special sections.

5. Summary of Test Method

5.1 The flexure specimen is subjected to a bending moment by supporting it near its ends, at locations called reactions, and applying transverse loads symmetrically imposed between these reactions. The specimen is deflected at a prescribed rate, and coordinated observations of loads and deflections are made until rupture occurs.

6. Significance and Use

6.1 The flexural properties established by this test method provide:

- 6.1.1 Data for use in development of grading rules and specifications;
- 6.1.2 Data for use in development of design values for structural members;
- 6.1.3 Data on the influence of imperfections on mechanical properties of structural members;
- 6.1.4 Data on strength properties of different species or grades in various structural sizes;
- 6.1.5 Data for use in checking existing equations or hypotheses relating to the structural behavior;
- 6.1.6 Data on the effects of chemical or environmental conditions on mechanical properties;
- 6.1.7 Data on effects of fabrication variables such as depth, taper, notches, or type of end joint in laminations; and
- 6.1.8 Data on relationships between mechanical and physical properties.

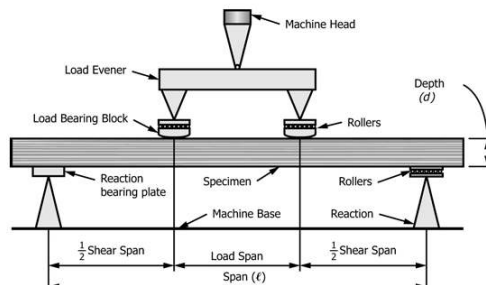


FIG. 1 Flexure Test Method—Example of Two-Point Loading

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved). Mon Sep 26 14:05:11 EDT 2016 2
 Downloaded/printed by
 Patricio Elgueta (Instituto Forestal) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

6.2 Procedures are described here in sufficient detail to permit duplication in different laboratories so that comparisons of results from different sources will be valid. Where special circumstances require deviation from some details of these procedures, these deviations shall be carefully described in the report (see Section 11).

7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—A device that provides (1) a rigid frame to support the specimen yet permit its deflection without restraint, (2) a loading head through which the force is applied without high-stress concentrations in the specimen, and (3) a force-measuring device that is calibrated to ensure accuracy in accordance with Practices E4.

7.2 *Support Apparatus*—Devices that provide support of the specimen at the specified span.

7.2.1 *Reaction Bearing Plates*—The specimen shall be supported by metal bearing plates to prevent damage to the specimen at the point of contact with the reaction support (Fig. 1). The plates shall be of sufficient length, thickness, and width to provide a firm bearing surface and ensure a uniform bearing stress across the width of the specimen.

7.2.2 *Reaction Supports*—The bearing plates shall be supported by devices that provide unrestricted longitudinal deformation and rotation of the specimen at the reactions due to loading. Provisions shall be made to restrict horizontal translation of the specimen (see 7.3.1 and Appendix X5).

7.2.3 *Reaction Bearing Alignment*—Provisions shall be made at the reaction supports to allow for initial twist in the length of the specimen. If the bearing surfaces of the specimen at its reactions are not parallel, then the specimen shall be shimmed or the individual bearing plates shall be rotated about an axis parallel to the span to provide full bearing across the width of the specimen. Supports with lateral self-alignment are normally used (Fig. 2).

7.2.4 *Lateral Support*—Specimens that have a depth-to-width ratio (d/b) of three or greater are subject to out-of-plane lateral instability during loading and require lateral support. Lateral support shall be provided at points located about halfway between a reaction and a load point. Additional supports shall be permitted as required to prevent lateral-torsional buckling. Each support shall allow vertical movement without frictional restraint but shall restrict lateral displacement (Fig. 3).

7.3 *Load Apparatus*—Devices that transfer load from the testing machine at designated points on the specimen. Provisions shall be made to prevent eccentric loading of the load measuring device (see Appendix X5).

7.3.1 *Load Bearing Blocks*—The load shall be applied through bearing blocks (Fig. 1), which are of sufficient thickness and extending entirely across the specimen width to eliminate high-stress concentrations at places of contact between the specimen and bearing blocks. Load shall be applied to the blocks in such a manner that the blocks shall be permitted to rotate about an axis perpendicular to the span (Fig. 4). To prevent specimen deflection without restraint in case of two-point loading, metal bearing plates and rollers shall be used in conjunction with one or both load-bearing blocks,

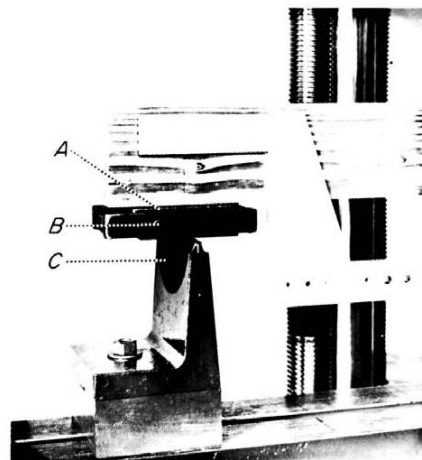


FIG. 2 Example of Bearing Plate (A), Rollers (B), and Reaction-Alignment-Rocker (C), for Small Flexure Specimens

depending on the reaction support conditions (see Appendix X5). Provisions such as rotatable bearings or shims shall be made to ensure full contact between the specimen and the loading blocks. The size and shape of these loading blocks, plates, and rollers may vary with the size and shape of the specimen, as well as for the reaction bearing plates and supports. For rectangular structural products, the loading surface of the blocks shall have a radius of curvature equal to two to four times the specimen depth. Specimens having circular or irregular cross-sections shall have bearing blocks that distribute the load uniformly to the bearing surface and permit unrestrained deflections.

7.3.2 *Load Points*—Location of load points relative to the reactions depends on the purpose of testing and shall be recorded (see Appendix X5).

7.3.2.1 *Two-Point Loading*—The total load on the specimen shall be applied equally at two points equidistant from the reactions. The two load points will normally be at a distance from their reaction equal to one third of the span ($l/3$) (third-point loading), but other distances shall be permitted for special purposes.

7.3.2.2 *Center-Point Loading*—A single load shall be applied at mid-span.

7.3.2.3 For evaluation of shear properties, center-point loading or two-point loading shall be used (see Appendix X5).

7.4 Deflection-Measuring Apparatus:

7.4.1 *General*—For modulus of elasticity calculations, devices shall be provided by which the deflection of the neutral axis of the specimen at the center of the span is measured with respect to a straight line joining two reference points equidistant from the reactions and on the neutral axis of the specimen.

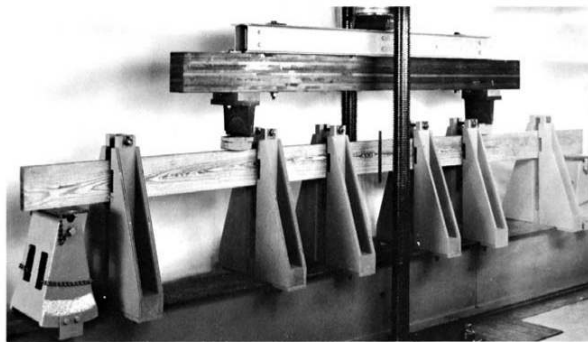


FIG. 3 Example of Lateral Support for Long, Deep Flexure Specimens

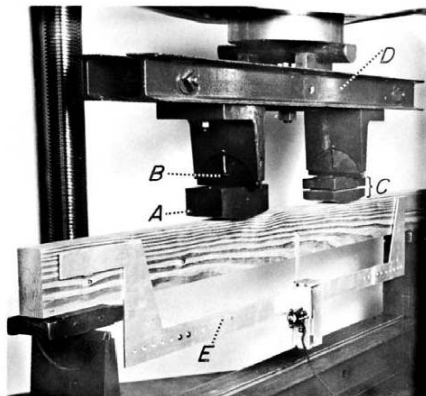


FIG. 4 Example of Curved Loading Block (A), Load-Alignment Rocker (B), Roller-Curved Loading Block (C), Load Evener (D), and Deflection-Measuring Apparatus (E)

7.4.1.1 The apparent modulus of elasticity (E_{app}) shall be calculated using the full-span deflection (Δ). The reference points for the full-span deflection measurements shall be positioned such that a line perpendicular to the neutral axis at the location of the reference point, passes through the support's center of rotation.

7.4.1.2 The true or shear-free modulus of elasticity (E_{sf}) shall be calculated using the shear-free deflection. The reference points for the shear-free deflection measurements shall be positioned at cross-sections free of shear and stress concentrations (see Appendix X5).

NOTE 1—The apparent modulus of elasticity (E_{app}) may be converted to the shear-free modulus of elasticity (E_{sf}) by calculation, assuming that the shear modulus (G) is known. See Appendix X2.

7.4.2 *Wire Deflectometer*—A wire stretched taut between two nails, smooth dowels, or other rounded fixtures attached to the neutral axis of the specimen directly above the reactions and extending across a scale attached to the neutral axis of the specimen at mid-span shall be permitted to read deflections with a telescope or reading glass to magnify the area where the wire crosses the scale. When a reading glass is used, a reflective surface placed adjacent to the scale will help to avoid parallax.

7.4.3 *Yoke Deflectometer*—A satisfactory device commonly used to measure deflection of the center of the specimen with respect to any point along the neutral axis consists of a lightweight U-shaped yoke suspended between nails, smooth dowels, or other rounded fixtures attached to the specimen at its neutral axis. An electronic displacement gauge, dial micrometer, or other suitable measurement device attached to the center of the yoke shall be used to measure vertical displacement at mid-span relative to the specimen's neutral axis (Fig. 4).

7.4.4 *Alternative Deflectometers*—Deflectometers that do not conform to the general requirements of 7.4.1 shall be permitted provided the mean deflection measurements are not significantly different from those devices conforming to 7.4.1. The equivalency of such devices to deflectometers, such as those described in 7.4.2 or 7.4.3, shall be documented and demonstrated by comparison testing.

NOTE 2—Where possible, equivalency testing should be undertaken in the same type of product and stiffness range for which the device will be used. Issues that should be considered in the equivalency testing include the effect of crushing at and in the vicinity of the load and reaction points, twist in the specimen, and natural variation in properties within a specimen.

7.4.5 *Accuracy*—The deflection measurement devices and recording system shall be capable of at least a Class B rating when evaluated in accordance with Practice E2309.

8. Flexure Specimen

8.1 *Material*—The flexure specimen shall consist of a structural member.

8.2 *Identification*—Material or materials of the specimen shall be identified as fully as possible by including the origin or source of supply, species, and history of drying and conditioning, chemical treatment, fabrication, and other pertinent physical or mechanical details that potentially affect the strength or stiffness. Details of this information shall depend on the material or materials in the structural member. For example, wood beams or joists would be identified by the character of the wood, that is, species, source, and so forth, whereas structural composite lumber would be identified by the grade, species, and source of the material (that is, product manufacturer, manufacturing facility, etc.).

8.3 *Specimen Measurements*—The weight and dimensions (length and cross-section) of the specimen shall be measured before the test to three significant figures. Sufficient measurements of the cross section shall be made along the length to describe the width and depth of rectangular specimens and to determine the critical section or sections of non-uniform (or non-prismatic) specimens. The physical characteristics of the specimen as described by its density or specific gravity shall be permitted to be determined in accordance with Test Methods D2395.

8.4 *Specimen Description*—The inherent imperfections or intentional modifications of the composition of the specimen shall be fully described by recording the size and location of such factors as knots, checks, and reinforcements. Size and location of intentional modifications such as placement of laminations, glued joints, and reinforcing steel shall be recorded during the fabrication process. The size and location of imperfections in the interior of any specimen must be deduced from those on the surface, especially in the case of large sawn members. A sketch or photographic record shall be made of each face and the ends showing the size, location, and type of growth characteristics, including slope of grain, knots, distribution of sapwood and heartwood, location of pitch pockets, direction of annual rings, and such abstract factors as crook, bow, cup, or twist, which might affect the flexural strength.

8.5 *Rules for Determination of Specimen Length*—The cross-sectional dimensions of structural products usually have established sizes, depending upon the manufacturing process and intended use, so that no modification of these dimensions is involved. The length, however, will be established by the type of data desired (see Appendix X5). The span length is determined from knowledge of specimen depth, the distance between load points, as well as the type and orientation of material in the specimen. The total specimen length includes the span (measured from center to center of the reaction supports) and the length of the overhangs (measured from the center of the reaction supports to the ends of the specimen). Sufficient length shall be provided so that the specimen can accommodate the bearing plates and rollers and will not slip off the reactions during test.

8.5.1 For evaluation of shear properties, the overhang beyond the span shall be minimized, as the shear capacity may be influenced by the length of the overhang. The reaction bearing plates shall be the minimum length necessary to prevent bearing failures. The specimen shall not extend beyond the end

of the reaction plates (Fig. X5.3 in Appendix X5) unless longer overhangs are required to simulate a specific design condition.

9. Procedure

9.1 *Conditioning*—Unless otherwise indicated in the research program or material specification, condition the specimen to constant weight so it is in moisture equilibrium under the desired environmental conditions. Approximate moisture contents with moisture meters or measure more accurately by weights of samples in accordance with Test Methods D4442.

9.2 *Test Setup*—Determine the size of the specimen, the span, and the shear span in accordance with 7.3.2 and 8.5. Locate the flexure specimen symmetrically on its supports with load bearing and reaction bearing blocks as described in 7.2 – 7.4. The specimen shall be adequately supported laterally in accordance with 7.2.4. Set apparatus for measuring deflections in place (see 7.4). Full contact shall be attained between support bearings, loading blocks, and the specimen surface.

9.3 *Speed of Testing*—The loading shall progress at a constant deformation rate such that the average time to maximum load for the test series shall be at least 4 min. It is permissible to initially test a few random specimens from a series at an alternate rate as the test rate is refined. Otherwise, the selected rate shall be held constant for the test series.

9.4 Load-Deflection Curves:

9.4.1 Obtain load-deflection data with apparatus described in 7.4.1. Note the load and deflection at first failure, at the maximum load, and at points of sudden change. Continue loading until complete failure or an arbitrary terminal load has been reached.

9.4.2 If an additional deflection measuring apparatus is provided to measure the shear-free deflection (Δ_{sf}) over a second distance (ℓ_{sf}) in accordance with 7.4.1.2, such load-deflection data shall be obtained only up to the proportional limit.

9.5 *Record of Failures*—Describe failures in detail as to type, manner, and order of occurrence, and position in the specimen. Record descriptions of the failures and relate them to specimen drawings or photographs referred to in 8.4. Also record notations as the order of their occurrence on such references. Hold the section of the specimen containing the failure for examination and reference until analysis of the data has been completed.

9.6 *Moisture Content Determination*—Following the test, measure the moisture content of the specimen at a location away from the end and as close to the failure zone as practical in accordance with the procedures outlined in Test Methods D4442. Alternatively, the moisture content for a wood specimen shall be permitted to be determined using a calibrated moisture meter according to Standard Practice D7438. The number of moisture content samples shall be determined using Practice D7438 guidelines, with consideration of the expected moisture content variability, and any related requirements in the referenced product standards.

10. Calculation

10.1 Compute physical and mechanical properties and their appropriate adjustments for the specimen in accordance with the relationships in **Appendix X2**.

11. Report

11.1 Report the following information:

11.1.1 Complete identification of the specimen, including species, origin, shape and form, fabrication procedure, type and location of imperfections or reinforcements, and pertinent physical or chemical characteristics relating to the quality of the material,

11.1.2 History of seasoning and conditioning,

11.1.3 Loading conditions to portray the load and support mechanics, including type of equipment, lateral supports, if used, the location of load points relative to the reactions, the size of load bearing blocks, reaction bearing plates, clear distances between load block and reaction plate and between load blocks, and the size of overhangs, if present,

11.1.4 Deflection apparatus,

11.1.5 Depth and width of the specimen or pertinent cross-sectional dimensions,

11.1.6 Span length and shear span distance,

11.1.7 Rate of load application,

11.1.8 Computed physical and mechanical properties, including specific gravity or density (as applicable) and moisture content, flexural strength, stress at proportional limit, modulus of elasticity, calculation methods (**Note 3**), and a statistical measure of variability of these values,

NOTE 3—**Appendix X2** provides acceptable formulae and guidance for determining the flexural properties.

11.1.9 Description of failure, and

11.1.10 Details of any deviations from the prescribed or recommended methods as outlined in the standard.

12. Precision and Bias

12.1 *Interlaboratory Test Program*—An interlaboratory study (ILS) was conducted in 2006–2007 by sixteen laboratories in the United States and Canada in accordance with Practice **E691**.³ The scope of this study was limited to the determination of the apparent modulus of elasticity of three different 2 × 4 nominal sized products tested both edgewise and flatwise. The deflection of each flexure specimen's neutral axis at the mid-span was measured with a yoke according to **7.4**. Five specimens of each product were tested in a round-robin fashion in each laboratory, with four test results obtained for each specimen and test orientation. The resulting precision indexes are shown in **Table 1**. For further discussion, see **Appendix X5.4**.

12.2 The terms of repeatability and reproducibility are used as specified in Practice **E177**.

12.3 *Bias*—The bias is not determined because the apparent modulus of elasticity is defined in terms of this method, which is generally accepted as a reference (**Note 4**).

NOTE 4—Use of this method does not necessarily eliminate laboratory bias or ensure a level of consistency necessary for establishing reference values. The users are encouraged to participate in relevant interlaboratory studies (that is, an ILS involving sizes and types of product similar to those regularly tested by the laboratory) to provide evidence that their implementation of the Test Method provides levels of repeatability and

³ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR: RR:D07-1005. Contact ASTM Customer Service at service@astm.org.

TABLE 1 Test Materials, Configurations, and Precision Indexes⁴

Product	Test Orientation	Width × Depth <i>b</i> × <i>d</i> in. (mm)	Span Test <i>l</i> in. (mm)	Average Apparent Modulus of Elasticity <i>E_{app}</i> psi × 10 ⁶ (GPa)	Repeatability		Reproducibility		Repeatability		Reproducibility	
					Coefficient of Variation <i>CV_r</i>	Coefficient of Variation <i>CV_R</i>	Limits <i>2CV_r</i>	Limits <i>d2CV_r</i>	Limits <i>2CV_R</i>	Limits <i>d2CV_R</i>		
A	Edgewise	1.5 × 3.5 (38 × 89)	63.0 (1600)	2.17 (14.9)	1.4 %	2.0 %	2.7 %	3.8 %	4.0 %	5.6 %		
	Flatwise	3.5 × 1.5 (89 × 38)	31.5 (800)	2.18 (15.0)	1.4 %	3.3 %	2.7 %	3.9 %	6.5 %	9.2 %		
B	Edgewise	1.5 × 3.5 (38 × 89)	63.0 (1600)	1.49 (10.3)	1.0 %	2.1 %	2.0 %	2.8 %	4.2 %	5.9 %		
	Flatwise	3.5 × 1.5 (89 × 38)	31.5 (800)	1.54 (10.6)	1.3 %	2.7 %	2.6 %	3.6 %	5.3 %	7.5 %		
C	Edgewise	1.5 × 3.5 (38 × 89)	63.0 (1600)	2.35 (16.2)	1.3 %	2.0 %	2.5 %	3.5 %	3.9 %	5.5 %		
	Flatwise	3.5 × 1.5 (89 × 38)	31.5 (800)	2.78 (19.2)	1.5 %	4.3 %	2.9 %	4.2 %	8.3 %	11.8 %		
All Data	Edgewise	1.5 × 3.5 (38 × 89)	63.0 (1600)	...	1.2 %	2.1 %	2.4 %	3.4 %	4.0 %	5.7 %		
	Flatwise	3.5 × 1.5 (89 × 38)	31.5 (800)	...	1.4 %	3.4 %	2.7 %	3.9 %	6.7 %	9.5 %		

⁴ The precision indexes are the average values of five specimens tested in eleven laboratories which were found to be in statistical control and in compliance with the standard requirements.

reproducibility at least comparable to those shown in Table 1. See also X5.4.2 and X5.4.3.

COMPRESSION PARALLEL TO GRAIN (SHORT SPECIMEN, NO LATERAL SUPPORT, $l/r < 17$)

13. Scope

13.1 This test method covers the determination of the compressive properties of specimens taken from structural members when such a specimen has a slenderness ratio (length to least radius of gyration) of less than 17. The method is intended primarily for structural members with rectangular cross sections, but is also applicable to irregularly shaped studs, braces, chords, round poles, or special sections.

14. Summary of Test Method

14.1 The specimen is subjected to a force uniformly distributed on the contact surface in a direction generally parallel to the longitudinal axis of the wood fibers, and the force generally is uniformly distributed throughout the specimen during loading to failure without flexure along its length.

15. Significance and Use

15.1 The compressive properties obtained by axial compression will provide information similar to that stipulated for flexural properties in Section 6.

15.2 The compressive properties parallel to grain include modulus of elasticity (E_{axial}), stress at proportional limit, compressive strength, and strain data beyond proportional limit.

16. Apparatus

16.1 *Testing Machine*—Any device having the following is suitable:

16.1.1 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting to a movable loading head a uniform, controlled velocity with respect to the stationary base.

16.1.2 *Load Indicator*—A load-indicating mechanism capable of showing the total compressive force on the specimen. This force-measuring system shall be calibrated to ensure accuracy in accordance with Practices E4.

16.2 *Bearing Blocks*—Bearing blocks shall be used to apply the load uniformly over the two contact surfaces and to prevent eccentric loading on the specimen. At least one spherical bearing block shall be used to ensure uniform bearing. Spherical bearing blocks may be used on either or both ends of the specimen, depending on the degree of parallelism of bearing surfaces (Fig. 5). The radius of the sphere shall be as small as practicable, in order to facilitate adjustment of the bearing plate to the specimen, and yet large enough to provide adequate spherical bearing area. This radius is usually one to two times the greatest cross-section dimension. The center of the sphere shall be on the plane of the specimen contact surface. The size of the compression plate shall be larger than the contact surface. It has been found convenient to provide an adjustment for moving the specimen on its bearing plate with respect to the center of spherical rotation to ensure axial loading.

16.3 *Compressometer*:



FIG. 5 Example Test Setup for a Short Specimen Compression Parallel to Grain Test (Two Bearing Blocks Illustrated)

16.3.1 *Gauge Length*—For modulus of elasticity calculations, a device shall be provided by which the deformation of the specimen is measured with respect to specific paired gauge points defining the gauge length. To obtain test data representative of the test material as a whole, such paired gauge points shall be located symmetrically on the lengthwise surface of the specimen as far apart as feasible, yet at least one times the larger cross-sectional dimension from each of the contact surfaces. At least two pairs of such gauge points on the opposite sides of the specimen shall be used to measure the average deformation.

16.3.2 *Accuracy*—The device shall be able to measure changes in deformation to three significant figures. Since gauge lengths vary over a wide range, the measuring instruments should conform to their appropriate class in accordance with Practice E83.

17. Compression Specimen

17.1 *Material*—The test specimen shall consist of a structural member that is greater than nominal 2 by 2-in. (38 by 38-mm) in cross section (see 3.2.7).

17.2 *Identification*—Material or materials of the specimen shall be as fully described as for flexure specimens in 8.2.

17.3 *Specimen Measurements*—The weight and dimensions (length and cross-section) of the specimen, shall be measured

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved). Mon Sep 26 14:05:11 EDT 2016 7
 Downloaded/printed by
 Patricio Elgueta (Instituto Forestal) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

before the test to three significant figures. Sufficient measurements of the cross section shall be made along the length of the specimen to describe shape characteristics and to determine the smallest section. The physical characteristics of the specimen, as described by its density or specific gravity, shall be permitted to be determined in accordance with Test Method D2395.

17.4 *Specimen Description*—The inherent imperfections and intentional modifications shall be described as for flexure specimens in 8.4.

17.5 *Specimen Length*—The length of the specimen shall be such that the compressive force continues to be uniformly distributed throughout the specimen during loading—hence no flexure occurs. To meet this requirement, the specimen shall be a short specimen having a maximum length, ℓ , less than 17 times the least radius of gyration, r , of the cross section of the specimen (see compressive notations). The minimum length of the specimen for stress and strain measurements shall be greater than three times the larger cross section dimension or about ten times the radius of gyration.

18. Procedure

18.1 *Conditioning*—Unless otherwise indicated in the research program or material specification, condition the specimen to constant weight so it is at moisture equilibrium, under the desired environment. Approximate moisture contents with moisture meters or measure more accurately by weights of samples in accordance with Test Methods D4442.

18.2 Test Setup:

18.2.1 *Bearing Surfaces*—After the specimen length has been calculated in accordance with 18.5, cut the specimen to the proper length so that the contact surfaces are plane, parallel to each other, and normal to the long axis of the specimen. Furthermore, the axis of the specimen shall be generally parallel to the fibers of the wood.

NOTE 5—A sharp fine-toothed saw of either the crosscut or “novelty” crosscut type has been used satisfactorily for obtaining the proper end surfaces. Power equipment with accurate table guides is especially recommended for this work.

NOTE 6—It is desirable to have failures occur in the body of the specimen and not adjacent to the contact surface. Therefore, the cross-sectional areas adjacent to the loaded surface may be reinforced.

18.2.2 *Centering*—First geometrically center the specimens on the bearing plates and then adjust the spherical seats so that the specimen is loaded uniformly and axially.

18.3 *Speed of Testing*—The loading shall progress at a constant deformation rate such that the average time to maximum load for the test series shall be at least 4 min. It is permissible to initially test a few random specimens from a series at an alternate rate as the test rate is refined. Otherwise, the selected rate shall be held constant for the test series.

18.4 *Load-Deformation Curves*—If load-deformation data have been obtained, note the load and deflection at first failure, at changes in slope of curve, and at maximum load.

18.5 *Records*—Record the maximum load, as well as a description and sketch of the failure relating the latter to the

location of imperfections in the specimen. Reexamine the section of the specimen containing the failure during analysis of the data.

18.6 *Moisture Content Determination*—Determine the specimen moisture content in accordance with 9.6.

19. Calculation

19.1 Compute physical and mechanical properties in accordance with Terminology E6, and as follows (see compressive notations):

- 19.1.1 Stress at proportional limit, $\sigma'_p = P'/A$ in psi (MPa).
- 19.1.2 Compressive strength, $\sigma_c = P_{max}/A$ in psi (MPa).
- 19.1.3 Modulus of elasticity, $E_{axial} = P'/A\epsilon$ in psi (MPa).

20. Report

20.1 Report the following information:

- 20.1.1 Complete identification;
- 20.1.2 History of seasoning and conditioning;
- 20.1.3 Load apparatus;
- 20.1.4 Deflection apparatus;
- 20.1.5 Length and cross-section dimensions;
- 20.1.6 Gauge length;
- 20.1.7 Rate of load application;
- 20.1.8 Computed physical and mechanical properties, including specific gravity and moisture content, compressive strength, stress at proportional limit, modulus of elasticity, and a statistical measure of variability of these values;
- 20.1.9 Description of failure; and
- 20.1.10 Details of any deviations from the prescribed or recommended methods as outlined in the standard.

COMPRESSION PARALLEL TO GRAIN (CRUSHING STRENGTH OF Laterally SUPPORTED LONG SPECIMEN, EFFECTIVE $\ell/r \geq 17$)

21. Scope

21.1 This test method covers the determination of the compressive properties of structural members when such a member has a slenderness ratio (length to least radius of gyration) of more than 17, and when such a member is to be evaluated in full size but with lateral supports that are spaced to produce an effective slenderness ratio, ℓ/r , of less than 17. This test method is intended primarily for structural members of rectangular cross section but is also applicable to irregularly shaped studs, braces, chords, round poles and piles, or special sections.

22. Summary of Test Method

22.1 The compression specimen is subjected to a force uniformly distributed on the contact surface in a direction generally parallel to the longitudinal axis of the wood fibers, and the force generally is uniformly distributed throughout the specimen during loading to failure without flexure along its length.

23. Significance and Use

23.1 The compressive properties obtained by axial compression will provide information similar to that stipulated for flexural properties in Section 6.

23.2 The compressive properties parallel to grain include modulus of elasticity (E_{axial}), stress at proportional limit, compressive strength, and strain data beyond proportional limit.

24. Apparatus

24.1 *Testing Machine*—Any device having the following is suitable:

24.1.1 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting to a movable loading head a uniform, controlled velocity with respect to the stationary base.

24.1.2 *Load Indicator*—A load-indicating mechanism capable of showing the total compressive force on the specimen. This force-measuring system shall be calibrated to ensure accuracy in accordance with Practices E4.

24.2 *Bearing Blocks*—Bearing blocks shall be used to apply the load uniformly over the two contact surfaces and to prevent eccentric loading on the specimen. One spherical bearing block shall be used to ensure uniform bearing, or a rocker-type bearing block shall be used on each end of the specimen with their axes of rotation at 0° to each other (Fig. 6). The radius of the sphere shall be as small as practicable, in order to facilitate adjustment of the bearing plate to the specimen, and yet large enough to provide adequate spherical bearing area. This radius is usually one to two times the greatest cross-section dimension. The center of the sphere shall be on the plane of the specimen contact surface. The size of the compression plate shall be larger than the contact surface.

24.3 *Lateral Support*:

24.3.1 *General*—Evaluation of the crushing strength of long compression specimens requires that they be supported laterally to prevent buckling during the test without undue pressure against the sides of the specimen. Furthermore, the support shall not restrain either the longitudinal compressive deformation or load during test. The support shall be either continuous or intermittent. Intermittent supports shall be spaced so that the distance between supports (l_1 or l_2) is less than 17 times the least radius of gyration of the cross section.

24.3.2 *Rectangular Specimens*—The general rules for lateral support outlined in 24.3.1 shall also apply to rectangular specimens. However, the effective column length as controlled by intermittent support spacing on flatwise face (l_2) need not equal that on edgewise face (l_1). The minimum spacing of the supports on the flatwise face shall be 17 times the least radius

of gyration of the cross section, which is about the centroidal axis parallel to flat face. And the minimum spacing of the supports on the edgewise face shall be 17 times the other radius of gyration (Fig. 6). A satisfactory method of providing lateral support for 2-in. nominal (38-mm) dimension stock is shown in Fig. 7. A 27-in. (686-mm) I-beam provides the frame for the test machine. Small I-beams provide reactions for longitudinal pressure. A pivoted top I-beam provides lateral support on one flatwise face, while the web of the large I-beam provides the other. In between these steel members, metal guides on 3-in. (7.6-cm) spacing (hidden from view) attached to plywood fillers provide the flatwise support and contact surface. In between the flanges of the 27-in. (686-mm) I-beam, fingers and wedges provide edgewise lateral support.

24.4 *Compressometer*:

24.4.1 *Gauge Length*—For modulus of elasticity (E_{axial}) calculations, a device shall be provided by which the deformation of the specimen is measured with respect to specific paired gauge points defining the gauge length. To obtain data representative of the test material as a whole, such paired gauge points shall be located symmetrically on the lengthwise surface of the specimen as far apart as feasible, yet at least one times the larger cross-sectional dimension from each of the contact surfaces. At least two pairs of such gauge points on the opposite sides of the specimen shall be used to measure the average deformation.

24.4.2 *Accuracy*—The device shall be able to measure changes in deformation to three significant figures. Since gauge lengths vary over a wide range, the measuring instruments should conform to their appropriate class in accordance with Practice E83.

25. Compression Specimen

25.1 *Material*—The specimen shall consist of a structural member that is greater than nominal 2 by 2-in. (38 by 38-mm) in cross section (see 3.2.7).

25.2 *Identification*—Material or materials of the specimen shall be as fully described as for flexure specimens in 8.2.

25.3 *Specimen Measurements*—The weight and dimensions (length and cross-section) of the specimen shall be measured before the test to three significant figures. Sufficient measurements of the cross section shall be made along the length of the specimen to describe shape characteristics and to determine the smallest section. The physical characteristics of the specimen, as described by its density or specific gravity shall be permitted to be determined in accordance with Test Methods D2395.

25.4 *Specimen Description*—The inherent imperfections and intentional modifications shall be described as for flexure specimens in 8.4.

25.5 *Specimen Length*—The cross-sectional and length dimensions of structural members usually have established sizes, depending on the manufacturing process and intended use, so that no modification of these dimensions is involved. Since the length has been approximately established, the full length of the member shall be tested, except for trimming or squaring the bearing surface (see 26.2.1).

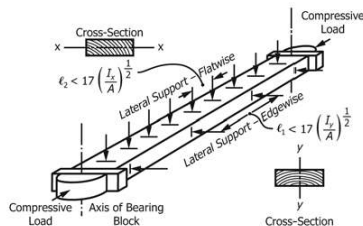


FIG. 6 Minimum Spacing of Lateral Supports of Long Compression Specimens

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved). Mon Sep 26 14:05:11 EDT 2016 9
 Downloaded/printed by
 Patricio Elgueta (Instituto Forestal) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

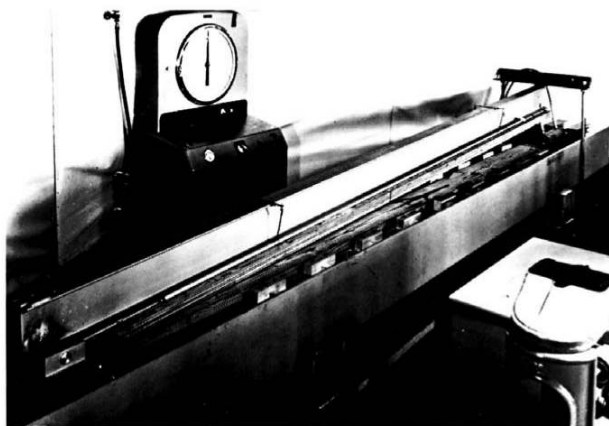


FIG. 7 Example Test Setup for a Long Specimen Compression Parallel to Grain Test

26. Procedure

26.1 *Preliminary*—Unless otherwise indicated in the research program or material specification, condition the specimen to constant weight so it is at moisture equilibrium, under the desired environment. Moisture contents may be approximated with moisture meters or more accurately measured by weights of samples in accordance with Test Methods D4442.

26.2 *Test Setup:*

26.2.1 *Bearing Surfaces*—Cut the bearing surfaces of the specimen so that the contact surfaces are plane, parallel to each other, and normal to the long axis of the specimen.

26.2.2 *Setup Method*—After physical measurements have been taken and recorded, place the specimen in the testing machine between the bearing blocks at each end and between the lateral supports on the four sides. Center the contact surfaces geometrically on the bearing plates and then adjust the spherical seats for full contact. Apply a slight longitudinal pressure to hold the specimen while the lateral supports are adjusted and fastened to conform to the warp, twist, or bend of the specimen.

26.3 *Speed of Testing*—The loading shall progress at a constant deformation rate such that the average time to maximum load for the test series shall be at least 4 min. It is permissible to initially test a few random specimens from a series at an alternate rate as the test rate is refined. Otherwise, the selected rate shall be held constant for the test series.

26.4 *Load-Deformation Curves*—If load-deformation data have been obtained, note load and deflection at first failure, at changes in slope of curve, and at maximum load.

26.5 *Records*—Record the maximum load as well as a description and sketch of the failure relating the latter to the location of imperfections in the specimen. Reexamine the section of the specimen containing the failure during analysis of the data.

26.6 *Moisture Content Determination*—Determine the specimen moisture content in accordance with 9.6.

27. Calculation

27.1 Compute physical and mechanical properties in accordance with Terminology E6 and as follows (see Appendix X1):

- 27.1.1 Stress at proportional limit, $\sigma'_c = P/A$ in psi (MPa).
- 27.1.2 Compressive strength, $\sigma_c = P_{max}/A$ in psi (MPa).
- 27.1.3 Modulus of elasticity, $E_{axial} = P/A\epsilon$ in psi (MPa).

28. Report

- 28.1 Report the following information:
 - 28.1.1 Complete identification;
 - 28.1.2 History of seasoning conditioning;
 - 28.1.3 Load apparatus;
 - 28.1.4 Deflection apparatus;
 - 28.1.5 Length and cross-section dimensions;
 - 28.1.6 gauge length;
 - 28.1.7 Rate of load application;
 - 28.1.8 Computed physical and mechanical properties, including specific gravity of moisture content, compressive strength, stress at proportional limit, modulus of elasticity, and a statistical measure of variability of these values;
 - 28.1.9 Description of failure; and
 - 28.1.10 Details of any deviations from the prescribed or recommended methods as outlined in the standard.

TENSION PARALLEL TO GRAIN

29. Scope

29.1 This test method covers the determination of the tensile properties of structural members equal to and greater than nominal 1 in. (19 mm) thick.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved). Mon Sep 26 14:05:11 EDT 2016 10
 Downloaded/printed by
 Patricio Elgueta (Instituto Forestal) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

30. Summary of Test Method

30.1 The tension specimen is clamped at the extremities of its length and subjected to a tensile load so that in sections between clamps the tensile forces shall be axial and generally uniformly distributed throughout the cross sections without flexure along its length.

31. Significance and Use

31.1 The tensile properties obtained by axial tension will provide information similar to that stipulated for flexural properties in Section 6.

31.2 The tensile properties obtained include modulus of elasticity (E_{axial}), stress at proportional limit, tensile strength, and strain data beyond proportional limit.

32. Apparatus

32.1 *Testing Machine*—Any device having the following is suitable:

32.1.1 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting to a movable clamp a uniform, controlled velocity with respect to a stationary clamp.

32.1.2 *Load Indicator*—A load-indicating mechanism capable of showing the total tensile force on the test section of the tension specimen. This force-measuring system shall be calibrated to ensure accuracy in accordance with Practices E4.

32.1.3 *Grips*—Suitable grips or fastening devices shall be provided that transmit the tensile load from the movable head of the drive mechanism to one end of the test section of the tension specimen, and similar devices shall be provided to transmit the load from the stationary mechanism to the other end of the test section of the specimen. Such devices shall be designed to minimize slippage under load, inflicted damage, or inflicted stress concentrations to the test section. Such devices shall be permitted to be plates bonded to the specimen or un-bonded plates clamped to the specimen by various pressure modes.

32.1.3.1 *Grip Alignment*—The fastening device shall apply the tensile loads to the test section of the specimen without applying a bending moment.

NOTE 7—For ideal test conditions, the grips should be self-aligning, that is, they should be attached to the force mechanism of the machine in such a manner that they will move freely into axial alignment as soon as the load is applied, and thus apply uniformly distributed forces along the test section and across the test cross section (Fig. 8(a)). For less ideal test conditions, each grip should be gimbaled about one axis, which should be perpendicular to the wider surface of the rectangular cross section of the specimen, and the axis of rotation should be through the fastened area (Fig. 8(b)). When neither self-aligning grips nor single gimbaled grips are available, the specimen may be clamped in the test machine with grips providing full restraint (Fig. 8(c)). A method of providing approximately full spherical alignment has three axes of rotation, not necessarily concurrent but, however, having a common axis longitudinal and through the centroid of the specimen (Fig. 8(d) and Fig. 9).

32.1.3.2 *Contact Surface*—The contact surface between grips and specimen shall be such that slippage does not occur.

NOTE 8—A smooth texture on the grip surface should be avoided, as well as very rough and large projections that damage the contact surface of the wood. Grips that are surfaced with a coarse emery paper (60x aluminum oxide emery belt) or serrated metal have been found satisfactory for softwoods. However, for hardwoods, grips may have to be glued

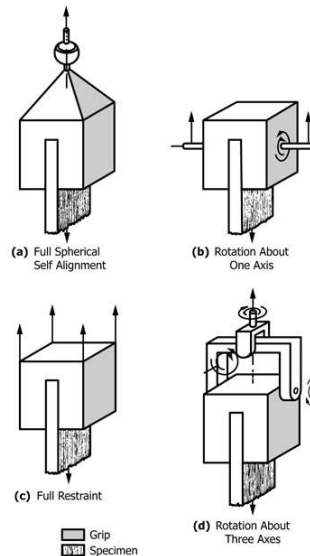


FIG. 8 Types of Tension Grips for Tension Specimens

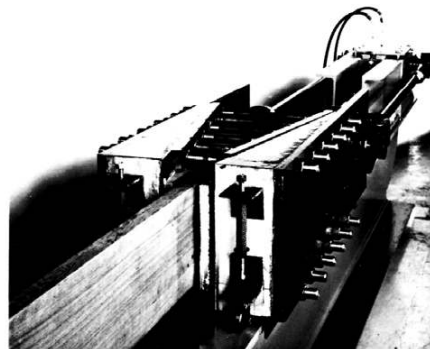


FIG. 9 Horizontal Tensile Grips for Nominal 2 x 10-in. (38 x 235-mm) Tension Specimens

to the specimen to prevent slippage.

32.1.3.3 *Contact Pressure*—For un-bonded grip devices, lateral pressure shall be applied to the jaws of the grip to prevent slippage between the grip and specimen. Such pressure is permitted to be applied using bolts, wedge-shaped jaws, hydraulic grips, pneumatic grips or other suitable means. To eliminate stress concentration or compressive damage at the tip end of the jaw closest to the tested segment, the contact pressure shall be reduced to zero.

NOTE 9—Wedge-shaped jaws, such as those shown in Fig. 10, which slip on the inclined plane to produce contact pressure, have a variable contact surface, and apply a lateral pressure gradient, have been found satisfactory.

32.1.4 Extensometer:

32.1.4.1 Gauge Length—For modulus of elasticity determinations, a device shall be provided by which the elongation of the test section of the specimen is measured with respect to specific paired gauge points defining the gauge length. To obtain data representative of the test material as a whole, such gauge points shall be symmetrically located on the lengthwise surface of the specimen as far apart as feasible, yet at least two times the larger cross-sectional dimension from each jaw edge. At least two pairs of such gauge points on the opposite sides of the specimen shall be used to measure the average deformation.

32.1.4.2 Accuracy—The device shall be able to measure changes in elongation to three significant figures. Since gauge lengths vary over a wide range, the measuring instruments should conform to their appropriate class in accordance with Practice E83.

33. Tension Specimen

33.1 Material—The specimen shall consist of a structural member with a size used in structural “tensile” applications, that is, in sizes equal to and greater than nominal 1-in. (19-mm) thick lumber

33.2 Identification—Material or materials of the specimen shall be fully described as required for flexure specimens in 8.2.

33.3 Specimen Description—The specimen shall be described in a manner similar to that outlined in 8.3 and 8.4.

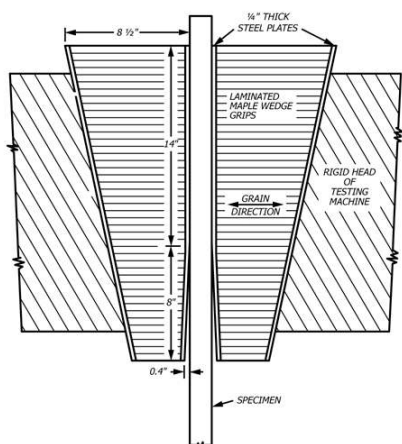


FIG. 10 Side View of Wedge Grips Used to Anchor Full-Size, Structurally-Graded Tension Specimens

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved). Mon Sep 26 14:05:11 EDT 2016 12
 Downloaded/printed by
 Patricio Elgueta (Instituto Forestal) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

33.4 Specimen Length—The tension specimen, which has its long axis parallel to grain in the wood, shall have a length between grips equal to at least eight times the larger cross-sectional dimension.

NOTE 10—A length of eight times the larger cross-sectional dimension is considered sufficient to uniformly distribute stress across the cross-section and minimize the influence of eccentric load application with self-aligning grips. When testing without self-aligning grips, a longer gauge length may be required to minimize the influence from the application of an eccentric tension load. Between-grip distances that are 20 or more times the greater cross-sectional dimension may be appropriate.

34. Procedure

34.1 Conditioning—Unless otherwise indicated, condition the specimen as outlined in 9.1.

34.2 Test Setup—After physical measurements have been taken and recorded, place the specimen in the grips of the load mechanism, taking care to have the long axis of the specimen and the grips coincide. The grips should securely clamp the specimen. If wedge-shaped jaws are employed, apply a small preload to ensure that all jaws move an equal amount and maintain axial-alignment of specimen and grips. Regardless of grip type, tighten the grips evenly and firmly to the degree necessary to prevent slippage. Under load, continue the tightening as necessary to eliminate slippage and achieve a tensile failure outside the jaw contact area.

NOTE 11—Some amount of perpendicular-to-grain crushing of the wood in the grips may be tolerable provided that the tension failures consistently occur outside of the grips. If failures consistently occur within the grips, then the grip pressure should be reduced as required to force failures to occur within the tested gauge length.

34.3 Speed of Testing—The loading shall progress at a constant deformation rate such that the average time to maximum load for the test series shall be at least 4 min. It is permissible to initially test a few random specimens from a series at an alternate rate as the test rate is refined. Otherwise, the selected rate shall be held constant for the test series.

34.4 Load-Elongation Curves—If load-elongation data have been obtained throughout the test, correlate changes in specimen behavior, such as appearance of cracks or splinters, with elongation data.

34.5 Records—Record the maximum load, as well as a description and sketch of the failure relating the latter to the location of imperfections in the test section. Reexamine the section containing the failure during analysis of data.

34.6 Moisture Content Determination—Determine the specimen moisture content in accordance with 9.6.

35. Calculation

35.1 Compute physical and mechanical properties in accordance with Terminology E6, and as follows (see Appendix X1):

- 35.1.1 Stress at proportional limit, $\sigma_p = P/A$ in psi (MPa).
- 35.1.2 Tensile strength, $\sigma_t = P_{max}/A$ in psi (MPa).
- 35.1.3 Modulus of elasticity, $E_{axial} = P/\Delta e$ in psi (MPa).

36. Report

- 36.1 Report the following information:
 - 36.1.1 Complete identification,

- 36.1.2 History of seasoning,
- 36.1.3 Load apparatus, including type of end condition,
- 36.1.4 Deflection apparatus,
- 36.1.5 Length and cross-sectional dimensions,
- 36.1.6 Gauge length,
- 36.1.7 Rate of load application,
- 36.1.8 Computed physical and mechanical properties, including specific gravity and moisture content, tensile strength, stress at proportional limit, modulus of elasticity, and a statistical measure of variability of these values,
- 36.1.9 Description of failures, and
- 36.1.10 Details of any deviations from the prescribed or recommended methods as outlined in the standard.

TORSION

37. Scope

37.1 This test method covers the determination of the torsional properties of structural members. This test method is intended primarily for specimens of rectangular cross section, but is also applicable to round or irregular shapes.

38. Summary of Test Method

38.1 The specimen is subjected to a torsional moment by clamping it near its ends and applying opposing couples to each clamping device. The specimen is deformed at a prescribed rate and coordinate observations of torque and twist are made for the duration of the test.

39. Significance and Use

39.1 The torsional properties obtained by twisting the specimen will provide information similar to that stipulated for flexural properties in Section 6.

39.2 The torsional properties of the specimen include torsional shear modulus (G_s), stress at proportional limit, torsional strength, and twist beyond proportional limit.

40. Apparatus

40.1 *Testing Machine*—Any device having the following is suitable:

40.1.1 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting an angular displacement at a uniform rate between a movable clamp on one end of the specimen and another clamp at the other end.

40.1.2 *Torque Indicator*—A torque-indicating mechanism capable of showing the total couple on the specimen. This measuring system shall be calibrated to ensure accuracy in accordance with Practices E4.

40.2 *Support Apparatus:*

40.2.1 *Clamps*—Each end of the specimen shall be securely held by metal plates of sufficient bearing area and strength to grip the specimen with a vise-like action without slippage, damage, or stress concentrations in the test section when the torque is applied to the assembly. The plates of the clamps shall be symmetrical about the longitudinal axis of the cross section of the element.

40.2.2 *Clamp Supports*—Each of the clamps shall be supported by roller bearings or bearing blocks that allow the

specimen to rotate about its natural longitudinal axis. Such supports shall be permitted to be ball bearings in a rigid frame of a torque-testing machine (Figs. 11 and 12) or bearing blocks (Figs. 13 and 14) on the stationary and movable frames of a universal-type test machine. Either type of support shall allow the transmission of the couple without friction to the torque measuring device, and shall allow freedom for longitudinal movement of the specimen during the twisting. Apparatus of Fig. 13 is not suitable for large amounts of twist unless the angles are measured at each end to enable proper torque calculation.

40.2.3 *Frame*—The frame of the torque-testing machine shall be capable of providing the reaction for the drive mechanism, the torque indicator, and the bearings. The framework necessary to provide these reactions in a universal-type test machine shall be two rigid steel beams attached to the movable and stationary heads forming an X. The extremities of the X shall bear on the lever arms attached to the specimen (Fig. 13).

40.3 *Troptometer:*

40.3.1 *Gauge Length*—For torsional shear modulus calculations, a device shall be provided by which the angle of twist of the specimen is measured with respect to specific paired gauge points defining the gauge length. To obtain test data representative of the element as a whole, such paired gauge points shall be located symmetrically on the lengthwise surface of the specimen as far apart as feasible, yet at least two times the larger cross-sectional dimension from each of the clamps. A yoke (Fig. 15) or other suitable device (Fig. 12) shall be firmly attached at each gauge point to permit measurement of the angle of twist. The angle of twist is measured by observing the relative rotation of the two yokes or other devices at the gauge points with the aid of any suitable apparatus including a light beam (Fig. 12), dials (Fig. 14), or string and scale (Figs. 15 and 16).

40.3.2 *Accuracy*—The device shall be able to measure changes in twist to three significant figures. Since gauge lengths may vary over a wide range, the measuring instruments should conform to their appropriate class in accordance with Practice E83.

41. Torsion Specimen

41.1 *Material*—The specimen shall consist of a structural member in sizes that are used in structural applications.

41.2 *Identification*—Material or materials of the specimen shall be as fully described as for flexure specimens in 8.2.

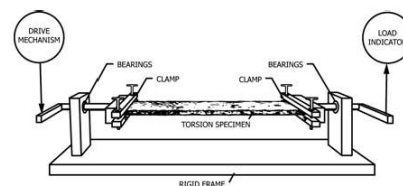


FIG. 11 Fundamentals of a Torsional Test Machine

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved). Mon Sep 26 14:05:11 EDT 2016 13
 Downloaded/printed by
 Patricio Elgueta (Instituto Forestal) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

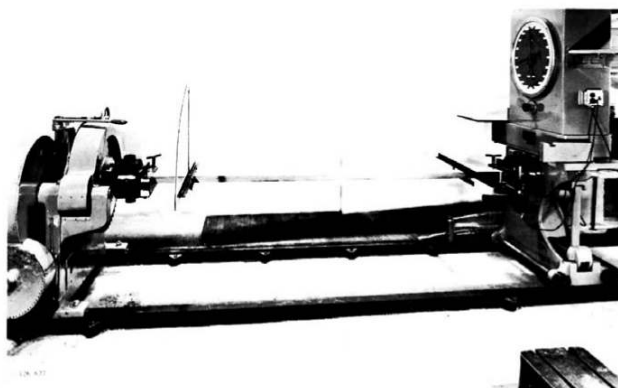


FIG. 12 Example of Torque-Testing Machine (Torsion specimen in apparatus meeting specification requirements)

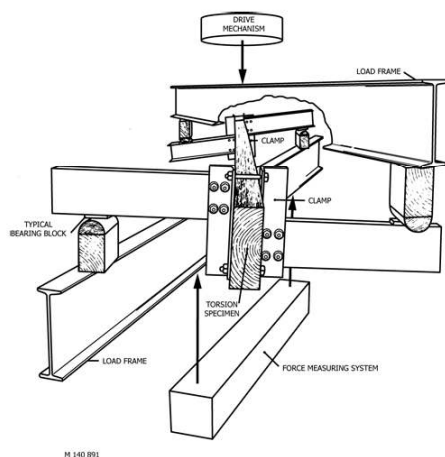


FIG. 13 Schematic Diagram of a Torsion Test Made in a Universal-Type Test Machine

41.3 *Specimen Measurements*—The weight and dimensions (length and cross-section) shall be measured to three significant figures. Sufficient measurements of the cross section shall be made along the length of the specimen to describe characteristics and to determine the smallest section. The physical characteristics of the specimen, as described by its density or specific gravity, shall be permitted to be determined in accordance with Test Methods D2395.

41.4 *Specimen Description*—The inherent imperfections and intentional modifications shall be described as for flexure specimens in 8.4.

41.5 *Specimen Length*—The cross-sectional dimensions are usually established, depending upon the manufacturing process and intended use so that normally no modification of these dimensions is involved. However, the length of the specimen shall be at least eight times the larger cross-sectional dimension.

42. Procedure

42.1 *Conditioning*—Unless otherwise indicated in the research program or material specification, condition the specimen to constant weight so it is at moisture equilibrium under the desired environment. Approximate moisture contents with moisture meters, or measure more accurately by weights of samples in accordance with Test Methods D4442.

42.2 *Test Setups*—After physical measurements have been taken and recorded, place the specimen in the clamps of the load mechanism, taking care to have the axis of rotation of the clamps coincide with the longitudinal centroidal axis. Tighten the clamps to securely hold the specimen in either type of testing machine. If the tests are made in a universal-type test machine, the bearing blocks shall be equal distances from the axis of rotation.

42.3 *Speed of Testing*—The loading shall progress at a constant deformation rate such that the average time to maximum load for the test series shall be at least 4 min. It is permissible to initially test a few random specimens from a series at an alternate rate as the test rate is refined. Otherwise, the selected rate shall be held constant for the test series.

42.4 *Torque-Twist Curves*—If torque-twist data have been obtained, note torque and twist at first failure, at changes in slope of curve, and at maximum torque.

42.5 *Record of Failures*—Describe failures in detail as to type, manner, and order of occurrence, angle with the grain, and position in the specimen. Record descriptions relating to imperfections in the specimen. Reexamine the section of the specimen containing the failure during analysis of the data.

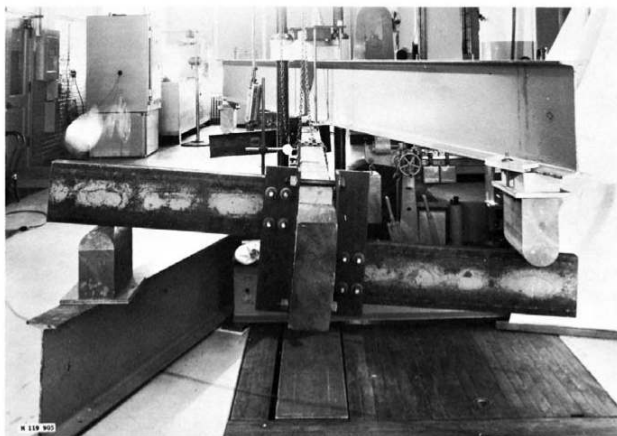
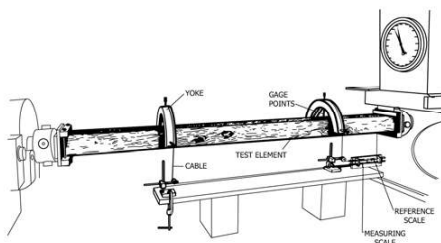


FIG. 14 Example of Torsion Test of Structural Member in a Universal-Type Test Machine



M 140 890

FIG. 15 Troptometer Measuring System

42.6 *Moisture Content Determination*—Determine the specimen moisture content in accordance with 9.6.

43. Calculation

43.1 Compute physical and mechanical properties in accordance with Terminology E6 and relationships in Tables X3.1 and X3.2.

44. Report

44.1 Report the following information:

- 44.1.1 Complete identification,
- 44.1.2 History of seasoning and conditioning,
- 44.1.3 Apparatus for applying and measuring torque,
- 44.1.4 Apparatus for measuring angle of twist,
- 44.1.5 Length and cross-section dimensions,
- 44.1.6 Gauge length,

44.1.7 Rate of twist applications,

44.1.8 Computed physical and mechanical properties, including specific gravity and moisture content, torsional strength, stress at proportional limit, torsional shear modulus, and a statistical measure of variability of these values, and

44.1.9 Description of failures.

SHEAR MODULUS

45. Scope

45.1 This test method covers the determination of the shear modulus (G) of structural members. Application to composite constructions can only give a measure of the effective shear modulus. This test method is intended primarily for specimens of rectangular cross section but is also applicable to other sections with appropriate modification of equation coefficients.

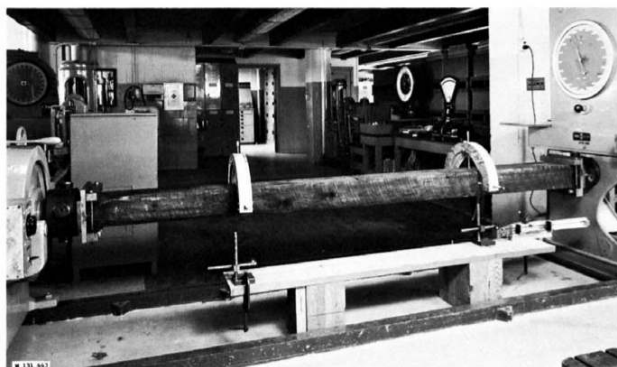


FIG. 16 Torsion Test with Yoke-Type Troptometer

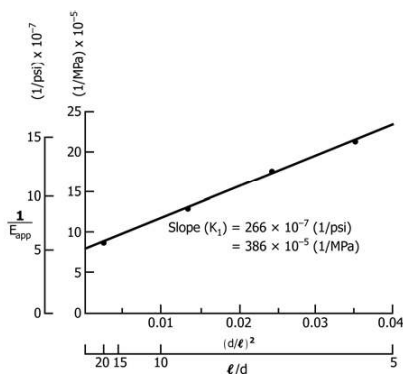


FIG. 17 Determination of Shear Modulus

46. Summary of Test Method

46.1 The shear modulus specimen, usually a straight or a slightly cambered member of rectangular cross section, is subjected to a bending moment by supporting it at two locations called reactions, and applying a single transverse load midway between these reactions. The specimen is deflected at a prescribed rate and a single observation of coordinate load and deflection is taken. This procedure is repeated on at least four different spans.

47. Significance and Use

47.1 The shear modulus established by this test method will provide information similar to that stipulated for flexural properties in Section 6.

48. Apparatus

48.1 The test machine and specimen configuration, supports, and loading are identical to Section 7 with the following exception:

48.1.1 The load shall be applied as a single, concentrated load midway between the reactions.

49. Shear Modulus Specimen

49.1 See Section 8.

50. Procedure

50.1 *Conditioning*—See 9.1.

50.2 *Test Setup*—Position the specimen in the test machine as described in 9.2 and load in center point bending over at least four different spans with the same cross section at the center of each. Choose the spans so as to give approximately equal increments of $(d/l)^2$ between them, within the range from 0.035 to 0.0025. The applied load must be sufficient to provide a reliable estimate of the initial bending stiffness of the specimen, but in no instance shall exceed the proportional limit or shear capacity of the specimen.

NOTE 12—Span-to-depth ratios of 5.5, 6.5, 8.5, and 20.0 meet the $(d/l)^2$ requirements of this section.

50.3 *Load-Deflection Measurements*—Obtain load-deflection data with the apparatus described in 7.4.1. One data point is required on each span tested.

50.4 *Records*—Record span-to-depth (l/d) ratios chosen and load levels achieved on each span.

50.5 *Speed of Testing*—See 9.3.

51. Calculation

51.1 Determine shear modulus, G , by plotting $1/E_{app}$ (where E_{app} is the apparent modulus of elasticity calculated under center point loading) versus $(d/l)^2$ for each span tested. As indicated in Fig. 17 and in Appendix X4, shear modulus is proportional to the slope of the best-fit line between these points.

52. Report

52.1 See Section 11.

PRECISION AND BIAS
53. Precision and Bias

53.1 The precision and bias of the flexure test method are discussed in Section 12. For the other test methods, the precision and bias have not been established.

54. Keywords

54.1 apparent modulus of elasticity; compression; flexure; modulus of elasticity; modulus of rupture; shear; shear modulus; shear-free modulus of elasticity; structural members; tension; torsion; torsional shear modulus; wood; wood-based materials

APPENDIXES
(Nonmandatory Information)
X1. NOTATIONS
INTRODUCTION

Notations are divided into sections corresponding to the test methods. Notations common to two or more test methods (for example, compression and tension or flexure and shear modulus) are listed in X1.1.

X1.1 GENERAL

A	Cross-sectional area, in. ² (mm ²).	P	Increment of applied load on flexure or shear modulus specimen below proportional limit, lbf (N).
d	Depth of rectangular flexure, shear modulus, or torsion specimen, in. (mm).	P'	Applied load at proportional limit, lbf (N).
D	Diameter of circular specimen, in. (mm).	P_{max}	Maximum load borne by specimen loaded to failure, lbf (N).
E_{app}	Apparent modulus of elasticity, psi (MPa).	r	Radius of gyration = $\sqrt{I/A}$, in. (mm).
E_{axial}	Axial modulus of elasticity, psi (MPa).	z	Rate of outer fiber strain, in./in./min (mm/mm/min).
E_{sf}	Shear-free modulus of elasticity, psi (MPa).	Δ	Increment of deflection of neutral axis of flexure or shear modulus specimen measured at midspan over distance l and corresponding load P , in. (mm).
G	Shear modulus, psi (MPa).	ε	Strain at proportional limit, in./in. (mm/mm)
I	Moment of inertia of the cross section about a designated axis, in. ⁴ (mm ⁴).	σ_c	Compression strength, psi (MPa).
l	Span of flexure or shear modulus specimen or length of compression specimen, in. (mm).	σ'_c	Compression stress at the proportional limit, psi (MPa).
l_1 or l_2	Effective length of compression specimen between supports for lateral stability, in. (mm).	σ_t	Tension strength, psi (MPa).
N	Rate of motion of movable head, in./min (mm/min).	σ'_t	Tension stress at the proportional limit, psi (MPa).

X1.2 FLEXURE

a	Distance from reaction to nearest load point, in. (mm) ($1/2$ shear span).	M	Maximum bending moment borne by a flexure specimen, lbf-in. (N-m).
A_{ML}	Area of graph paper under load-deflection curve from zero load to maximum load when deflection is measured at midspan over distance l , in. ² (mm ²).	S'	Fiber stress at proportional limit, psi (MPa).

A_{TL}	Area of graph paper under load-deflection curve from zero load to failing load or arbitrary terminal load when deflection is measured at midspan over distance ℓ , in. ² (mm ²).	S_R	Modulus of rupture, psi (MPa).
b	Width of flexure specimen, in. (mm).	W_{PL}	Work to proportional limit per unit volume, in.-lb/in. ³ (kJ/m ³).
c	Distance from neutral axis of flexure specimen to extreme outer fiber, in. (mm).	W_{ML}	Approximate work to maximum load per unit volume, in.-lb/in. ³ (kJ/m ³).
c_1	Graph paper scale constant for converting unit area of graph paper to load-deflection units, lb/in. (N/mm).	W_{TL}	Approximate total work per unit volume, in.-lb/in. ³ (kJ/m ³).
c_2	Ratio between deflection at the load point and deflection at the midspan.	Δ_{sf}	Increment of deflection of flexure specimen's neutral axis measured at midspan over distance ℓ_{sf} and corresponding load P , in. (mm).
ℓ_{sf}	Length of flexure specimen that is used to measure deflection between two load points, that is, shear-free deflection, in. (mm).	τ_{max}	Maximum shear stress, psi (MPa).

X1.3 TORSION

G_t	Torsional shear modulus, psi (MPa).	T	Twisting moment or torque, lbf-in. (N-m).
K	Stiffness-shape factor. ^A	T	Torque at proportional limit, lbf-in. (N-m).
ℓ_g	gauge length of torsion specimen, in. (mm).	b	Width of rectangular specimen, in. (mm).
Q	Stress-shape factor. ^A	γ	St. Venant constant, Column C, Table X3.2.
S_s	Fiber shear stress of greatest intensity at middle of long side at maximum torque, psi (MPa).	γ_1	St. Venant constant, Column D, Table X3.2.
S_s'	Fiber shear stress of greatest intensity at middle of long side at proportional limit, psi (MPa).	θ	Total angle of twist, radians (in./in. or mm/mm).
S_s''	Fiber shear stress of greatest intensity at middle of short side at maximum torque, psi (MPa).	λ	St. Venant constant, Column A, Table X3.2.
		μ	St. Venant constant, Column B, Table X3.2.

^A Based upon page 348 of *Roark's Formulas for Stress and Strain (1)* (see Footnote 4).

X1.4 SHEAR MODULUS

K	Shear coefficient. Defined in Appendix X4 .	K_1	Slope of line through multiple test data plotted on $(d/\ell)^2$ versus $(1/E_{app})$ axes (see Fig. 17).
-----	---	-------	--

X2. FLEXURE

X2.1 Flexure formulas for specimens with solid rectangular homogeneous cross-section through their length are shown in Table X2.1. These formulas are generally applicable for lumber and wood-based materials. Structural members composed of dissimilar materials (for example, sandwich-type structures) or those assembled with semi-rigid connections (for example, built-up beams with mechanical fasteners) should be analyzed using more rigorous methods.

X2.2 Schematic diagrams of loading methods are shown in Fig. X2.1. In this standard, two-point loading is the case when

the load is applied equally at two points equidistant from their reactions (Fig. X2.1(a)). Two-point loading is also known as four-point loading, because there are two loads and two reactions acting on the flexure specimen. Third-point loading is a special case of two-point (four-point) loading where the two loads are equally spaced between supports, at one-third span length from reactions (Fig. X2.1(b)). Center-point loading, or center loading, is the case when the load is applied at the mid-span (Fig. X2.1(c)). It is a special case of three-point loading—one load and two reactions.

TABLE X2.1 Flexure Formulas

Line	Mechanical Property	Two-Point Loading (Column A)	Third-Point Loading (Column B)	Center-Point Loading (Column C)
1	Fiber stress at proportional limit, S'	$\frac{3Pa}{bd^2}$	$\frac{P\ell}{bd^2}$	$\frac{3P\ell}{2bd^2}$
2	Modulus of rupture, S_R	$\frac{3P_{max}a}{bd^2}$	$\frac{P_{max}\ell}{bd^2}$	$\frac{3P_{max}\ell}{2bd^2}$
3	Apparent modulus of elasticity, E_{app}	$\frac{Pa}{4bd^3\Delta}(3\ell^2 - 4a^2)$	$\frac{23P\ell^3}{108bd^3\Delta}$	$\frac{P\ell^3}{4bd^3\Delta}$
4	Shear-free modulus of elasticity, E_{sf} (determined using Δ)	$\frac{Pa(3\ell^2 - 4a^2)}{4bd^3\Delta\left(1 - \frac{3Pa}{5bdG\Delta}\right)}$	$\frac{23P\ell^3}{108bd^3\Delta\left(1 - \frac{P\ell}{5bdG\Delta}\right)}$	$\frac{P\ell^3}{4bd^3\Delta\left(1 - \frac{3P\ell}{10bdG\Delta}\right)}$
5	Shear-free modulus of elasticity, E_{sf} (determined using Δ_{sf})	$\frac{3Pa\ell_{sf}^2}{4bd^3\Delta_{sf}}$	$\frac{P\ell\ell_{sf}^2}{4bd^3\Delta_{sf}}$	—
6	Ratio between deflection at the load point and deflection at the midspan, c_2	$\frac{4a(3\ell - 4a) + \frac{12d^2E_{sf}}{5G}}{3\ell^2 - 4a^2 + \frac{12d^2E_{sf}}{5G}}$	$\frac{\frac{20}{9}\ell^2 + \frac{12d^2E_{sf}}{5G}}{\frac{23}{9}\ell^2 + \frac{12d^2E_{sf}}{5G}}$	—
7	Work to proportional limit per unit volume, W_{PL}	$\frac{P\Delta c_2}{2\ell bd}$	$\frac{P\Delta c_2}{2\ell bd}$	$\frac{P\Delta}{2\ell bd}$
8	Approximate work to maximum load per unit volume, W_{ML}	$\frac{A_{ML}c_1c_2}{\ell bd}$	$\frac{A_{ML}c_1c_2}{\ell bd}$	$\frac{A_{ML}c_1}{\ell bd}$
9	Approximate total work per unit volume, W_{TL}	$\frac{A_{TL}c_1c_2}{\ell bd}$	$\frac{A_{TL}c_1c_2}{\ell bd}$	$\frac{A_{TL}c_1}{\ell bd}$
10	Maximum shear stress, τ_{max}	$\frac{3P_{max}}{4bd}$	$\frac{3P_{max}}{4bd}$	$\frac{3P_{max}}{4bd}$

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved). Mon Sep 26 14:05:11 EDT 2016 19
 Downloaded/printed by
 Patricio Elgueta (Instituto Forestal) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

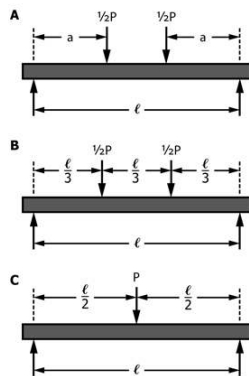


FIG. X2.1 Methods of Loading a Flexure Specimen: (A) Two-Point Loading, (B) Third-Point Loading, and (C) Center-Point Loading

X2.3 Fiber stress at proportional limit, S' , is determined at the last point on the linear portion of stress-strain (or load-deflection) curve. Historically, it has been determined graphically by drawing a straight line through the linear portion, where the modulus of elasticity is determined, and finding the point where the curve deviated from the straight line. If a digital data acquisition is used, the proportional limit (the point of deviation from the straight line) can be determined using a threshold value of the slope deviation or other suitable criteria. The threshold value depends on the product tested; therefore, it should be correlated with the graphical method using a representative subset of the sample. Threshold values and calculation methods should be included in the report.

X2.4 Modulus of rupture, S_R , is a measure of maximum load carrying capacity of a flexure specimen. In most wood products, the maximum load and rupture occur beyond the proportional limit where significant plastic deformations develop and the true cross-section stress distribution is unknown. For simplicity, modulus of rupture is calculated assuming the extreme fiber of a specimen is a linear elastic and homogeneous material:

$$S_R = \frac{Mc}{I} \quad (X2.1)$$

Generally, modulus of rupture is determined using the bending moment that causes rupture. In this standard, modulus of rupture is calculated using maximum bending moment at the maximum load, P_{max} , borne by the specimen, although rupture does not always occur at the maximum load and not necessarily in the zone of maximum moment (especially under center-point loading of lumber).

X2.5 Modulus of elasticity in bending, E_{app} or E_{sf} , is determined using linear portion of load-deflection (or stress-strain) curve. The maximum slope should be fitted to the load-deformation data by an acceptable statistical or graphical method. Historically, it has been determined graphically, using the slope of a straight line drawn through the linear portion of the load-deflection curve. If digital data acquisition is used, the straight line should be fitted between two different stress levels below proportional limit using appropriate statistical procedures. It is the user's responsibility to choose the stress levels and calculation methods that suit the purpose of testing and material tested. Normally, the curve fitting should cover a minimum range of 20 % of S_R (for example, between 10 % and 30 % or between 20 % and 40 % of S_R). The stress levels and goodness of fit should be included in the report. If digital methods produce questionable results, graphical method should be used as reference.

X2.6 Apparent modulus of elasticity, E_{app} , includes effect of shear distortion of the flexure specimen cross-section. The shear effect is greater in specimens with low span-depth ratio and materials with low shear modulus. To determine shear-free modulus of elasticity, E_{sf} , deflections are measured in shear-free span between load points, l_{sf} , using two-point bending method. Alternatively, the shear-free modulus of elasticity can be calculated using full-span deflections, Δ , and assuming that the shear modulus, G , is known (Table X2.1, Line 4); however, this calculation may not necessarily produce the same results as a test.

X2.7 Formulas for flexure specimen's work under two-point and third-point loading include factor c_2 , which relates deflection under the load points to the deflection measured at mid-span. This factor includes shear correction assuming that the ratio E_{sf}/G is known.

X3. TORSION

X3.1 Torsion formulas in **Table X3.1** are valid assuming that the tested material is isotropic and linear elastic (obeys the Hooke's law). The values of St. Venant coefficients in **Table X3.2** are from *NACA Report No. 334 (2)*⁴ Table I "Factors for

Calculating Torsional Rigidity and Stress of Rectangular Prisms," which is based on an earlier St. Venant's publication. If equation format is preferred by the user, *Roark's Formulas for Stress and Strain (1)* provides approximate expressions for the St. Venant coefficients with sufficient accuracy.

⁴ The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of this standard.

TABLE X3.1 Torsion Formulas

Line	Mechanical Property	Cross Section			
		Circle (Column A)	Square (Column B)	Rectangle (Column C)	General (Column D)
1	Fiber shear stress of greatest intensity at middle of long side; at proportional limit, S_p	$\frac{16T'}{\pi D^3}$	$\frac{4.808 T'}{d^3}$	$\frac{8\gamma T'}{\mu db^2}$	$\frac{T'}{Q}$
2	Fiber shear stress of greatest intensity at middle of long side at maximum torque, S_p	$\frac{16T'}{\pi D^3}$	$\frac{4.808 T}{d^3}$	$\frac{8\gamma T}{\mu db^2}$	$\frac{T}{Q}$
3	Fiber shear stress of greatest intensity at middle of short side at maximum torque, S_p			$\frac{8\gamma_1 T}{\mu b^3}$	
4	Torsional shear modulus, G_t	$\frac{32\ell_p T'}{\pi D^4\theta}$	$\frac{7.11\ell_p T'}{d^4\theta}$	$\frac{16\ell_p T'}{db^3 \left[\frac{16}{3} - \frac{\lambda b}{d} \right] \theta}$	$\frac{\ell_p T'}{K\theta}$

X3.2 For most wood and composite materials, the torsional shear modulus, G_t , obtained using the torsional test method is typically not equivalent to the shear modulus, G , used elsewhere in this standard. The G of interest in a flexural application is that which occurs in the plane of flexure. The G_t values derived using the calculations of **Table X3.1** represent a composite shear estimate that combines the performance of all

planes which occur parallel to the torsional length based upon an assumption that the materials are isotropic. For materials that are not isotropic, the G_t estimate will be influenced by the shear modulus for each plane that occurs parallel to the torsional length and the cross-sectional geometry relative to those planes.

TABLE X3.2 Factors for Calculating Torsional Rigidity and Stress of Rectangular Prisms

Ratio of Sides	λ (Column A)	μ (Column B)	γ (Column C)	γ_1 (Column D)
1.00	3.08410	2.24923	1.35063	1.35063
1.05	3.12256	2.35908	1.39651	
1.10	3.15653	2.46374	1.43956	
1.15	3.18554	2.56330	1.47990	
1.20	3.21040	2.65788	1.51753	
1.25	3.23196	2.74772	1.55268	1.13782
1.30	3.25035	2.83306	1.58544	
1.35	3.26632	2.91379	1.61594	
1.40	3.28002	2.99046	1.64430	
1.45	3.29171	3.06319	1.67265	
1.50	3.30174	3.13217	1.69512	0.97075
1.60	3.31770	3.25977	1.73889	0.91489
1.70	3.32941	3.37486	1.77649	
1.75	3.33402	3.42843	1.79325	0.84098
1.80	3.33798	3.47890	1.80877	
1.90	3.34426	3.57320	1.83643	
2.00	3.34885	3.65891	1.86012	0.73945
2.25	3.35564	3.84194	1.90543	
2.50	3.35873	3.98984	1.93614	0.59347
2.75	3.36023	4.11143	1.95687	
3.00	3.36079	4.21307	1.97087	
3.33	0.44545
3.50	3.36121	4.37299	1.98672	
4.00	3.36132	4.49300	1.99395	0.37121
4.50	3.36133	4.58639	1.99724	
5.00	3.36133	4.66162	1.99874	0.29700
6.00	3.36133	4.77311	1.99974	
6.67	3.36133	0.22275
7.00	3.36133	4.85314	1.99995	
8.00	3.36133	4.91317	1.99999	0.18564
9.00	3.36133	4.95985	2.00000	
10.00	3.36133	4.99720	2.00000	0.14858
20.00	3.36133	5.16527	2.00000	0.07341
50.00	3.36133	5.26611	2.00000	
100.00	3.36133	5.29972	2.00000	
∞	3.36133	5.33333	2.00000	0.00000

X4. SHEAR MODULUS

X4.1 Assuming the tested material is isotropic, the elastic deflection of a prismatic shear modulus specimen under a single-center point load (Fig. X2.1(c)) is (from Gromala (3)):

$$\Delta = \frac{P\ell^3}{48E_s I} + \frac{P\ell}{4GKA} \quad (X4.1)$$

X4.2 All parameters in Eq X4.1 are specified in Appendix X1 and are self-explanatory with the exception of the shear coefficient, K . The shear coefficient is a reciprocal of so-called shape factor, which is a dimensionless quantity dependent on the cross-sectional dimensions of the specimen. These shape factors for various specimen cross-sections are found in *Roark's Formulas for Stress and Strain (1)*⁵ and other literature, or can be derived using the second Castigliano's theorem. Most common shapes of lumber and wood-based materials are rectangular and circular, for which the shear coefficients have the following magnitudes (1):⁵

$$K = \frac{9}{10} \text{ (circular section)} \quad (X4.2)$$

$$K = \frac{5}{6} \text{ (rectangular section)}$$

X4.3 Often the relationship between deflection and elastic constants is simplified by ignoring the shear contribution, or the second term in Eq X4.1. The resulting elastic constant is then called the "apparent" modulus of elasticity, E_{app} :

$$\Delta = \frac{P\ell^3}{48E_{app} I} \quad (X4.3)$$

X4.4 At the same deflection the apparent modulus of elasticity, E_{app} , can be expressed in terms of the shear-free modulus of elasticity, E_{sf} , and the shear modulus, G :

$$\frac{P\ell^3}{48E_{app} I} = \frac{P\ell^3}{48E_{sf} I} + \frac{P\ell}{4GKA} \quad (X4.4)$$

X4.5 For a rectangular section of width b and depth d , Eq X4.4 reduces to:

⁵ Available from page 210 of *Roark's Formulas for Stress and Strain (1)*.

TABLE X4.1 Shear Modulus Formulas

Line	Mechanical Property	Formula
1	Apparent modulus of elasticity, E_{app} (center point loading)	$\frac{Pl^3}{48I\Delta}$
2	Shear modulus, G (rectangular section)	$\frac{6}{5K_1}$
3	Shear modulus, G (circular section)	$\frac{5}{6K_1}$

$$\frac{l^2}{E_{app}d^2} = \frac{l^2}{E_s d^2} + \frac{1}{KG} \quad (X4.5)$$

X4.6 Multiplying both sides of Eq X4.5 by $(d/l)^2$ yields:

$$\frac{1}{E_{app}} = \frac{1}{E_s} + \frac{1}{KG} \left(\frac{d}{l}\right)^2 \quad (X4.6)$$

X4.6.1 Eq X4.6 can be expressed as a linear function by substituting $y = 1/E_{app}$ and $x = (d/l)^2$. In the resulting line

equation, $y = 1/E_{sf} + K_1x$, the slope of the line connecting multiple data points is $K_1 = 1/KG$ and y-intercept is the reciprocal of the shear-free modulus of elasticity, E_{sf} .

X4.7 For a circular section of diameter D , Eq X4.4 reduces to:

$$\frac{1}{E_{app}} = \frac{1}{E_{sf}} + \frac{3}{4KG} \left(\frac{D}{l}\right)^2 \quad (X4.7)$$

Therefore, $K_1 = 3/4KG$.

X4.8 Using plots for $1/E_{app}$ versus $(d/l)^2$ for rectangular sections or $(D/l)^2$ for circular sections and substituting K from Eq X4.2, shear modulus, G , can be expressed in terms of the slope K_1 as follows (see also Table X4.1):

$$G = \frac{5}{6K_1} \text{ (circular section)} \quad (X4.8)$$

$$G = \frac{6}{5K_1} \text{ (rectangular section)}$$

X4.9 Determination of shear modulus for other shear modulus specimen cross sections must start at Eq X4.4, substituting appropriate values for I , A , and K .

X5. COMMENTARY

X5.1 Flexure Apparatus (Section 7)

X5.1.1 In the first edition of the standard, in 1924, the flexure test guidelines for timbers required third-point loading over a span length of 15 ft (4.57 m). Span-depth ratios between 11 and 15 were recommended for use whenever possible. Center-point loading was not recommended for flexure specimens over 4 in. in depth with the span-depth ratio of 15 or less.

X5.1.2 A diagrammatic sketch of the 1924 test setup is shown in Fig. X5.1. The procedure required that the supporting

knife-edges be preferably of the half-rocker type, and so placed to rock outward. To prevent accident or damage from their being thrust suddenly outward on failure of the specimen, they were tied together by means of a slack chain or cable. The load was applied through knife-edges rigidly attached to an auxiliary beam, which in turn was hinged by a knife-edge. Metal bearing plates and rollers were used between each bearing block and its corresponding knife-edge. If the supporting

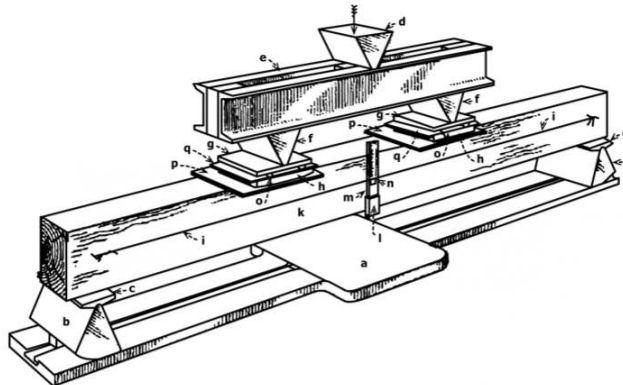


FIG. X5.1 Diagrammatic Sketch Showing Method of Conducting Static Bending Test of Structural Sizes of Timber (from ASTM D198-24)

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved). Mon Sep 26 14:05:11 EDT 2016 23
 Downloaded/printed by
 Patricio Elgueta (Instituto Forestal) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

knife-edges were of full-rocker type rather than the half-rocker type, rollers were placed under one loading knife-edge only.

X5.1.3 In 1967, the flexure test description was substantially revised. Specimen length, span-depth ratio, and location of load points were determined depending on the purpose of the test, allowing more freedom in test design. However, center-point loading was no longer mentioned. *Description of support apparatus (7.2)* allowed a choice between rocker-type reactions and fixed knife-edge reactions in conjunction with bearing plates supported by rollers. *Description of load apparatus (7.3)* required rollers in conjunction with one load bearing block (Fig. X5.2). The test setup described in Section 7 thus represented completely constrained but statically determinate condition with two rolling supports, one rolling load block, and one pinned load block. This setup reflected the testing practice on machines with load measuring devices built in the support table (for example, Tinius-Olsen machines).

X5.1.4 Most modern machines have load measuring devices (load cells) built in the machine head, that is, located above the specimen. In this case, it is desirable to reverse the location of the pin in the load evener with one of the reaction rollers, so both load blocks are used in conjunction with rollers (or sliders) allowing unrestrained displacement of the load evener along the specimen. Unrestrained horizontal sliding of the load evener is especially critical for tests on specimens experiencing large deflections (for example, long-span or low-stiffness specimens): if one of the load blocks were pinned, the contraction of the top specimen fibers could place an eccentric load on the load cell. Apart from biased load readings and potential damage to the load cell, such movement may cause slippage of the pinned load block along the specimen producing saw-like load-deflection curve. It is the opinion of the committee that the example of the test setup in Fig. 1 in current edition represents the most common modern practice and is recommended for test machines with load measuring devices built in the load head.

X5.1.5 *Reaction Bearing Plates (7.2.1)*—The size of the bearing plates may vary with the size and shape of the

specimen being tested. The minimum length should be selected to prevent bearing failures. In the past, for rectangular specimens as large as 12 in. (305 mm) deep by 6 in. (152 mm) wide, the recommended size of bearing plate was ½ in. (13 mm) thick by 6 in. (152 mm) lengthwise and extending entirely across the width of the specimen.

X5.1.6 *Reaction Supports (7.2.2) and Load Bearing Blocks (7.3.1)*—To restrict horizontal translation of the flexure specimen in case of two-point loading, one of the supports or load bearing blocks should be constrained from horizontal sliding or rolling (that is, should be “pinned”) to keep the specimen statically determinate.

X5.1.7 *Load Points (7.3.2)*—One of the objectives of two-point loading is to subject the portion of the specimen between load points to a uniform bending moment, free of shear, and with comparatively small loads at the load points. For example, to develop a moment of similar magnitude, loads applied at one-third span length from reactions would be less than that applied at one-fourth span length from reaction. When loads are applied at the one-third points, the moment distribution of the specimen simulates that for loads uniformly distributed across the span to develop a moment of similar magnitude. If loads are applied at the outer one-fourth points of the span, the maximum moment and shear are the same as the maximum moment and shear for the same total load uniformly distributed across the span. Center-point loading is not recommended for destructive tests on long-span specimens with large cross-sections. However, it is acceptable for determination of bending stiffness properties and shear strength.

X5.1.8 *Evaluation of Shear Properties (7.3.2.3)*—For evaluation of shear properties, it is desirable to minimize shear-free span or minimize span-depth ratio of the specimen, or both. The clear distance between the reaction bearing plate and load bearing blocks influences the shear stress distribution in the specimen. It will normally be at least two times the specimen depth. For the two-point loading setup, the clear distance between load bearing blocks will normally not exceed 6 in. (152 mm) (see Fig. X5.3). The clear distance of at least two

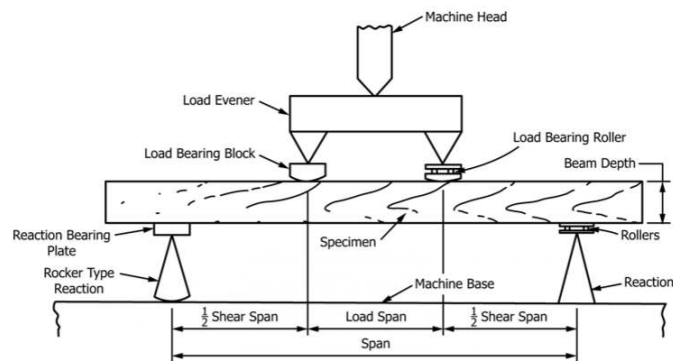


FIG. X5.2 Flexure Method (from ASTM D198-67)

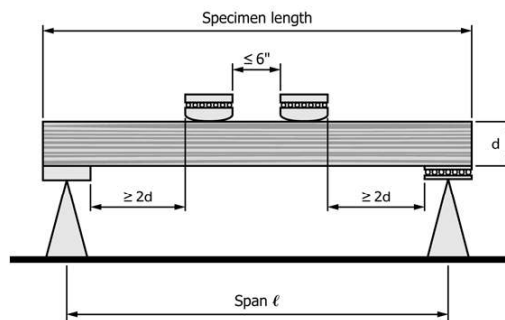


FIG. X5.3 Spacing of Load Bearing Blocks and Specimen Length for Evaluation of Shear Properties

times the specimen depth is intended to limit the influence of compression perpendicular to grain stress on shear stress distribution. For short deep specimens with large cross sections, two-point loading is preferred to spread the applied load and avoid crushing of specimen under the load block and also to reduce the effect of the load block on contraction of the contact surface of the specimen.

X5.2 Deflection-Measuring Apparatus (7.4)

X5.2.1 The guidance provided in this section assumes that the structural product is a linear elastic and homogenous material. In general, it is appropriate to make this assumption for sawn lumber and most wood-based materials. Provided a standard loading configuration, such as third-point loading, is followed test results are comparable and repeatable.

X5.2.2 The apparatus used to support the specimen, apply the load, and measure the deflection will affect the deflection of the specimen under a specified load. Some materials or materials under certain conditions may be more or less sensitive to departures from these reference test configurations.

X5.2.3 Where the loading configuration cannot be maintained, conversion factors such as those in Practice D2915 may be used, but it should be recognized that use of such equations might introduce bias and errors. Developments of such conversion factors are beyond the scope of this standard. Product specifications will generally provide descriptions of the standard loading configuration and acceptable adjustment procedures.

X5.2.4 *Shear-Free Modulus of Elasticity (7.4.1.2)*—Reference points for shear-free deflection measurements should be selected such that they avoid areas of stress concentration, but are set far enough apart so that the deflection can be accurately measured with the deflection device. It is recommended that the reference points be offset at least half of the specimen depth towards the mid-span away from the load points.

X5.2.5 Wire Deflectometer (7.4.2) and Yoke Deflectometer (7.4.3):

X5.2.5.1 The intent is not to limit the devices to those described. Other arrangements that meet the requirements of the General Clause are acceptable.

X5.2.5.2 Because the specimen deflections are measured relative to the deflectometer, the deflectometer spanning the two reference points should be sufficiently rigid or taut, in the case of a wire. Care should be taken to ensure that the deflectometer is not disturbed while the specimen is deflecting. Possible sources of erroneous results include the following: using a spring-loaded deflection measurement device where the spring force is high enough to cause the deflectometer to flex significantly as compared to the specimen deflection; and using a deflectometer that rubs against the side of the specimen as it deflects.

X5.2.6 Alternative Deflectometers (7.4.4):

X5.2.6.1 For long or unusual specimen configurations, it may not be practical to follow one of the traditional methods (described in 7.4.2 and 7.4.3). Provided sufficient documentation is provided to demonstrate that the deflection measurements would be equivalent to that from a device meeting specifications in 7.4.1, the method should be acceptable. The note emphasizes that some judgment is required when selecting the samples for demonstrating equivalency.

X5.2.6.2 The intent of this section is to demonstrate equivalency of devices. It is not intended to permit an adjustment factor to be developed or used.

X5.2.7 Accuracy (7.4.5):

X5.2.7.1 When assessing the accuracy of a computer-based displacement recording system, the precision of the displacement transducer and the analog-to-digital (A-to-D) converter should be considered. See Practice E2309.

X5.2.7.2 The number of “significant figures” is the number of figures known with some degree of reliability plus one digit which is an estimate or approximation. It is convenient to use scientific notation when reporting results: for example, 1.23×10 mm is the same as 4.84×10^{-1} in. (3 significant figures); similarly 1.0×10^{-3} in. would be the same as 2.5×10^{-2} mm (2 significant figures). When adding or subtracting, the result cannot be more accurate than the least accurate measurement: for example, $110.2 - 1.34 = 108.86$ but report as 108.9. When multiplying or dividing, the result cannot have more significant figures than the least accurate measurement: for example, $10.20 / 1.3 = 7.84615\dots$ but report as 7.8.

X5.2.7.3 (See 7.4.5) Because the deformations measured within the shear-free portion of the flexure specimen are only a fraction of that measured over the total span, more accurate devices are required. For shear-free deflection measurements, it may be desirable to use a quarter-point rather than a third-point loading scheme. When doing so, the consideration should be given to possible bearing failures and the effect of span on the specimen response.

X5.3 Rules for Determination of Specimen Length (8.5)

X5.3.1 The length of a specimen is established depending on the purpose of the test and type of failure desired. For wood specimens of uniform rectangular cross section, the desired span length can be estimated using the a/d ratio if approximate values of modulus of rupture (S_R) and shear strength (τ_m) are known. It is assumed that when $a/d = S_R/4\tau_m$ the specimen is equally likely to fail in either shear or in flexure.

X5.3.2 The length of flexure specimens intended primarily for evaluation of shear strength should be such that the shear span is relatively short. For wood specimens, it is generally assumed that S_R is 10 times greater than τ_m . Therefore, it is assumed that specimens with a/d near 2.5 would produce a high percentage of shear failures. Indeed, the ratio S_R/τ_m depends on the lumber grade, type of material tested, and other variables. Often, tests on short-span specimens produce a number of failure modes other than shear. Statistical analysis and interpretation of test data is beyond the scope of these test methods. An example of guidance on interpreting of shear strength data can be found in Practice D3737, Appendix.

X5.3.3 The span length of specimens intended primarily for evaluation of flexural properties (bending strength and modulus of elasticity) should be such that the shear span is relatively long. Wood specimens of uniform rectangular cross section having a/d ratios from 4 to 6 are in this category. The a/d values should be somewhat greater than $S_R/4\tau_m$ so that the specimens do not fail in shear but should not be so large that specimen deflections cause sizable thrust of reactions and thrust values need to be taken into account. A suggested range of a/h values is between approximately $0.4 S_R/\tau_m$ and $0.6 S_R/\tau_m$. In this range, shear distortions affect the total deflection, so that flexural properties may be calculated by formulae provided in Appendix X2.

X5.3.4 The span length of specimens intended primarily for evaluation of only the deflection of specimen due to bending moment should be such that the shear span is long. Solid wood products of uniform rectangular cross section in this category have a/d ratios greater than 6. The shear stresses and distortions are assumed to be small so that they can be neglected; hence the a/d ratio is suggested to be greater than $0.6 S_R/\tau_m$.

X5.4 Precision and Bias of the Flexure Test Method (Section 12)

X5.4.1 Precision indexes stated in Table 1 are based on data from 11 out of 16 participating laboratories found to be in statistical control and in general compliance with the standard requirements. Statistical analysis determined that data from the five excluded laboratories were out of statistical control. Further investigation of these excluded cases established non-

compliance to the standard requirements due to mechanical deficiencies of the test setup or deflection measurement apparatus, or both, (for example, supports or load heads lacked free pivoting movement in one or another direction, yoke was mounted too loose or too tight on the side of the specimen, contact between the displacement transducer and the screw was not secured, diameter of the load blocks was too small, etc.). Therefore, data from these laboratories were removed from the analysis, according to Practice E691.

X5.4.2 In this study, the apparent modulus of elasticity, E_{app} , measured in accordance with this test method is the reference, and therefore, there is no bias (Practice E177, 28.10, Ex. 10.1). However, there may be laboratory bias due to the laboratory's particular implementation of the method or internal procedures. Because certified reference materials are not available, interlaboratory testing should be employed (Practice E177, 20.4) to determine the laboratory bias.

X5.4.3 A laboratory, which follows good professional practices may be considered competent to use this test method; however, the real precision and bias of a laboratory can only be quantified through an ILS. While the precision indexes stated in Table 1 do not necessarily represent all of the laboratories involved in the ILS, they set an achievable target for any competent laboratory. The statistics are valid for the conditions indicated in Table 1 and can be recommended as a reference for future interlaboratory comparisons of test results obtained from the Flexure Test Method for E_{app} .

X5.4.4 The indexes of precision of the tested materials did not seem to depend on the level of the measured E_{app} ; therefore, the indexes based on analysis of the pooled data can be applied. Reproducibility limits, however, differed considerably between the edgewise and flatwise tests and, therefore, should be stated separately. One reason for higher variation of the flatwise test results between laboratories can be attributed to the relative error in the length measurement of the shorter test span. Twist in the test specimens is also believed to influence the flatwise test results more than those on the edge, as the distance between the yoke and the longitudinal axis of the specimen increases. E_{app} test results were generally more consistent when the deflection measurements were taken closer to the side face of the specimen. Higher consistency of results was observed in a laboratory that used yokes on both sides of the specimen. For further details, please refer to RR:D07-1005.³

X5.5 Shear Modulus

X5.5.1 *Calculation* (Section 43)—The units for the X and Y axes in Fig. 17 were chosen for ease of plotting a line in the format of $y = mx + b$. Appendix X4 describes the methodology to convert the slope and intercept of this line to the appropriate elastic constants (E_s , E_{app} , G).

X5.6 Speed of Testing

X5.6.1 The bending (9.3), compression (18.3 and 26.3), tension (34.3), and torsion (42.3) test speeds employed by these test methods were uniformly updated in 2009. For tests that measured only the peak strength, prior versions specified that the maximum load be achieved in “about” 10 min with a

mandatory range for individual specimens of between 5 and 20 min. Slower rates were required for the compression, tension, and torsion test methods when deformations were to be measured. The bending test method specifically stated that the load rate should be "...a constant rate to achieve maximum load in about 10 min, but maximum load should be reached in not less than 6 min nor more than 20 min. A constant rate of outer strain, ϵ , of 0.0010 in./in. • min (0.001 mm/mm • min) will usually permit the tests of wood members to be completed in the prescribed time." When measuring load-deformation data, both of the compression test methods specified that the load be applied at a constant rate of head motion such that the fiber strain was 0.001 in./in. • min \pm 25 % (0.001 mm/mm • min). For measuring only compressive strength, the test was permitted to be conducted at a constant rate to achieve maximum load in about 10 min, but not less than 5 nor more than 20 min. The tension method used the same load rate as the compression test when measuring only strength. However, when measuring tension load-deformation data, a constant rate of head motion was required to create a fiber strain of 0.0006 in./in. • min \pm 25 % (0.0006 mm/mm • min). The torsion test method stated that "For measuring torque-twist data, apply the load at a constant rate of head motion so that the angular detrusion of the outer fibers in the test section between gauge points is about 0.004 radian per inch of length (0.16 radian per meter of length) per minute \pm 50 %. For measuring only shear strength, the torque may be applied at a constant rate of twist so that maximum torque is achieved in about 10 min but not less than 5 nor more than 20 min."

X5.6.2 It has long been recognized that the strength of wood products is time dependent and will be sensitive to duration of load effects. Consequently, it is expected that such products will be sensitive to rate of loading at test load durations. To enable test results to be presented on a consistent basis, a target time to failure of "about" 10 min was historically employed in these test methods. Test results obtained using this basis were then typically normalized in the various performance standards from a 10 min test to a 10-year load duration using an adjustment factor of $1/1.6$ based upon the Madison Curve.

X5.6.3 With the advent of full-size lumber and wood-based material testing, it was observed that the rate of loading effects

used to establish characteristic property values were inconsistent (4). With load rates that result in times to failure between 4 and 20 min, the rate of loading effect was also not found to be as pronounced as previously thought. These observations were confirmed in analysis performed by Karacabeyli and Barrett on rate of loading data found in the literature (5).

X5.6.4 Faster loading rates that result in average times to failure of in the order of 1 minute have been subsequently permitted in standards such as Test Methods D4761 to efficiently process the larger sample sizes required in structural lumber testing programs. These faster test speeds have also typically been paired with the same adjustment factors that have normally been applied to tests undertaken using a 10 min test duration (that is, $1/1.6$ adjustments factors to convert to a 10-year load duration.)

X5.6.5 The test methods in this standard were uniformly updated to require the average time to maximum load of at least 4 min for each test series in an effort to update the provisions to reflect modern test equipment capabilities and bring these test methods into closer agreement with alternate methods such as Test Methods D4761. Based upon the work of Karacabeyli and Barrett (5), the difference between a 4 and 10 min average time to maximum load was judged to be negligible. Accordingly, it is intended that structural wood products tested with this method should continue to use the existing adjustment factors to convert test data from this standard to common load durations.

X5.6.6 As noted in X5.6.3 and X5.6.5, the justification for the higher rates of loading are based on observations of rate of loading effects in large data sets of common wood products. For product where the rate of loading effect is not clear or where the test set is too small to permit a loading or displacement rate to be selected that meets the time to maximum load specified, the historic load rates outlined in X5.6.1 should be used. With wood products that exhibit considerable variability, an average load rate that well exceeds the 4 min minimum average should be considered. With small test sets, the suggested strain rates provided in X5.6.1 can still be used as an initial estimate that should comply with the provisions of this standard for most wood products.

REFERENCES

- (1) Young, W. C., *Roark's Formulas for Stress and Strain*, McGraw-Hill, 1989.
- (2) Trayer, G. W., and March, H. W., "The Torsion of Members Having Sections Common in Aircraft Construction," *NACA Report No. 334*, National Advisory Committee for Aeronautics, 1930.
- (3) Gromala, D. S., "Determination of Modulus of Rigidity by ASTM D198 Flexural Methods," *Journal of Testing and Evaluation*, Vol 13, No. 5, September 1985, pp. 352–355.
- (4) Shelley, B., "Testing machines: development, calibration, and comparative studies," in proceeding of the *In-Grade Testing of Structural Lumber*, Forest Products Research Society, Madison, WI, 1989.
- (5) Karacabeyli, E., and Barrett, J.D., "Rate of Loading Effects on Strength of Lumber," *Forest Products Journal*, Vol 43, No. 5, May 1993, pp. 28–36.

 D198 – 15

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

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

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