

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA VIGA EN
ARCO DE MADERA LAMINADA ENCOLADA SOMETIDA A CARGA
PUNTUAL”**

TESIS

Para Optar El Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por el Bachiller:

NARVAEZ ALCÁNTARA, DANY ANTONIO

Asesor:

ING. MARCO WILDER HOYOS SAUCEDO

Cajamarca, diciembre del 2018

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por la vida y por darme la oportunidad de hacer del mundo, un mejor lugar donde vivir.

Agradezco a mi madre, por creer en mí y por el gran esfuerzo que ha implicado darme la posibilidad de estudiar; por seguir guiando mi vida y haber obtenido juntos este logro tan importante dentro de mi formación académica; a mi hermana, que gracias a su paciencia y alegría han sido mi inspiración para hacer las cosas con mística; A mis tíos, que han sido mi apoyo constante, que me han llevado por el camino del bien; A mi familia en general con los que siempre he podido contar.

Agradezco al ingeniero Héctor Albarino Pérez Loayza, con quien iniciamos este trabajo de investigación y que hoy aún nos llena con su sabiduría desde el cielo.

Agradezco al ingeniero Marco Wilder Hoyos Saucedo quien me acompañó en la sustentación de mi trabajo de investigación.

Agradezco de manera especial a Flor Briones, que ha estado a mi lado en todo momento, por creer en mí y permitirme ser parte de su vida.

Agradezco a la institución cultural Nueva Acrópolis por la oportunidad que me ha dado de pertenecer a ella y hacer un mundo nuevo y mejor.

Agradezco a mis amigos que con su apoyo y sabios consejos me han ayudado a sacar adelante éste trabajo.

Agradezco a todos los docentes que han sido parte de mi formación académica y que han guiado con sabiduría paso a paso la elaboración del presente trabajo.

Finalmente agradezco a todas las personas, instituciones y empresas quienes directa o indirectamente ayudaron a la culminación de la presente investigación.

D.N.A.

DEDICATORIA

A MI MADRE:

EDELMIRA, que con sus sabias enseñanzas han sabido guiar mi vida y es por ello que puedo decir, con alegría y firmeza, que soy una persona con valores y sentimientos fuertes. Por ser la columna más importante que ha sostenido mi vida y por demostrarme en todo momento su cariño y apoyo incondicional.

A MI HERMANA:

SINTHIA Que gracias a sus ideas, alegría y fortaleza han sido mi inspiración diaria para afrontar los diferentes retos a los cuales me enfrentado. Porque podamos seguir aprendiendo juntos y seamos cada vez mejores.

D.N.A.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE ECUACIONES	VIII
ANEXOS	X
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.4 ALCANCES Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.4.1 ALCANCES	16
1.4.2 DELIMITACIÓN	16
1.5 HIPÓTESIS	17
1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES	17
1.7 OBJETIVOS	17
1.7.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	18
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	18
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	19
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES	19
2.2 BASES TEÓRICAS	19
2.2.1 LA MADERA.....	19
2.2.2 PROPIEDADES DE LA MADERA	20
2.2.3 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MADERA	23
2.2.4 PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MADERA	32

2.2.5	MADERA LAMINADA	34
2.2.6	PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA MADERA LAMINADA.	36
2.2.7	ESTUDIO DEL PINO PÁTULA	46
2.3	BASE NORMATIVA EN EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN ...	47
2.3.1	BASE NORMATIVA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA	47
2.4	BASE NORMATIVA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA.....	49
2.4.2	BASE NORMATIVA PARA ELABORACIÓN Y ESTUDIO DE MADERA LAMINADA ENCOLADA.....	52
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		62
3.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS ESCENARIOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	62
3.2	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	63
3.3	POBLACIÓN DE ESTUDIO	63
3.4	MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.....	64
3.5	UNIDAD DE ANÁLISIS.....	65
3.6	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	66
3.7	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	66
3.8	EQUIPOS Y MATERIALES	66
3.8.1	EQUIPOS	66
3.8.2	MATERIALES	67
3.9	CODIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE ESTUDIO.....	67
3.10	PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS.....	67
3.10.1	DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA.....	69
3.10.2	DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA	71
3.10.3	DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES PARA LA ELABORACIÓN Y ESTUDIO DE MADERA LAMINADA ENCOLADA	72
3.11	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS.....	75
3.11.1	ETAPA DE ELABORACIÓN DE PLAN DE TRABAJO	75
3.11.2	ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.....	75
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		78
4.1	RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA	78

4.1.1	RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)....	78
4.1.2	RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA (DB).....	79
4.2	RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA	80
4.2.1	RESULTADOS DEL ENSAYO FLEXIÓN ESTÁTICA	80
4.2.2	RESULTADOS DEL ENSAYO DE ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA	81
4.3	RESULTADOS OBTENIDOS DE PROPIEDADES PARA LA ELABORACIÓN Y ESTUDIO DE MADERA LAMINADA ENCOLADA.	82
4.3.1	REQUISITOS E INSPECCIÓN.....	82
4.3.2	CLASIFICACIÓN VISUAL DE MADERA ASERRADA	83
4.3.3	DISEÑO DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS	83
4.3.4	RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS	84
4.4	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	88
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		89
5.1	CONCLUSIONES.....	89
5.2	RECOMENDACIONES.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1. EJE TANGENCIAL DE LA MADERA.....	20
FIGURA N° 2. EJE RADIAL DE LA MADERA.	20
FIGURA N° 3. EJE AXIAL O LONGITUDINAL DE LA MADERA.	21
FIGURA N° 4. ESQUEMA DE ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS.	22
FIGURA N° 5 ESQUEMA DE ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LAS FIBRAS. ...	22
FIGURA N° 6 ESQUEMA DE ENSAYO DE CORTE SIMPLE PARALELO A LA FIBRA.	23
FIGURA N° 7. ESQUEMA DE ENSAYO DE LA FLEXIÓN ESTÁTICA	23
FIGURA N° 8. VIGA RECTA, ANTES Y DESPUÉS DE APLICADA LA CARGA P.	24
FIGURA N° 9. VARIACIÓN DE LA DEFORMACIÓN UNITARIA NORMAL (IZQUIERDA), VARIACIÓN DEL ESFUERZO DE FLEXIÓN (DERECHA)	24
FIGURA N° 10. VARIACIÓN DEL ESFUERZO FLEXIONANTE.	25
FIGURA N° 11. VIGA CURVA, ANTES Y DESPUÉS DE APLICADA LA CARGA P.	27
FIGURA N° 12. ESTUDIO DE VIGA CURVA.....	28
FIGURA N° 13. ANÁLISIS DETALLADO DE VIGA CURVA.....	28
FIGURA N° 14. GEOMETRÍA EVALUADA PARA LA INTEGRAL.....	30
FIGURA N° 15. TIPOS DE CORTE SEGÚN SU ORIENTACIÓN EN EL TRONCO.	33
FIGURA N° 16. COMPOSICIÓN DEL ANCHO DE LÁMINAS USADAS EN VIGAS.	39
FIGURA N° 17. LAMINACIÓN HORIZONTAL.....	39
FIGURA N° 18. LAMINACIÓN VERTICAL.....	39
FIGURA N° 19 ESQUEMA DE ENSAYO DE DOBLE ESFUERZO CORTANTE PARALELO A LA FIBRA.....	52
FIGURA N° 20. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA EMPRESA INVERSIONES Y TRANSPORTES “CHILÓN”	62
FIGURA N° 21. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE CARPINTERÍA DEL SR. SEGUNDO TERRONES.	62
FIGURA N° 22. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.....	63
FIGURA N° 23. ZONA DE OBTENCIÓN DE MADERA - PORCÓN.....	64
FIGURA N° 24. DETALLE DE VIGAS RECTAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA	65
FIGURA N° 25. DETALLE DE VIGAS EN ARCO DE MADERA LAMINADA ENCOLADA	66

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TIPOS DE ADHESIVOS PARA USO EN DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES.	38
TABLA 2. TOLERANCIAS EN ARISTAS PARA EL PRODUCTO TERMINADO.	44
TABLA 3. TOLERANCIAS EN LONGITUD PARA ELEMENTOS RECTOS O CURVOS.	44
TABLA 4. DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DEL PINO PÁTULA.	46
TABLA 5. DENSIDAD DEL PINO PÁTULA.	46
TABLA 6. ESFUERZOS BÁSICOS	55
TABLA 7. DATOS PARA EVALUAR LA RAZÓN IK/IG.	56
TABLA 8. DEFORMACIONES MÁXIMAS ADMISIBLES EN VIGAS DE MADERA.	60
TABLA 9. MUESTRAS DE INVESTIGACIÓN	64
TABLA 10. CUADRO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL ESTUDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.	78
TABLA 11. CUADRO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL ESTUDIO DE DENSIDAD BÁSICA.	79
TABLA 12. CUADRO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA.	80
TABLA 13. CUADRO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL ESTUDIO DEL ENSAYO DEL ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA.	81
TABLA 14. CUADRO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS RECTAS.	84
TABLA 15. CUADRO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS EN ARCO.	85
TABLA 16. CUADRO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS RECTAS Y VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS EN ARCO.	86
TABLA 17. CUADRO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA DEFORMACIÓN EN LÍMITE DE ROTURA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS RECTAS Y VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS EN ARCO.	87
TABLA 18. CUADRO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TIPO DE FALLA EN EL LÍMITE DE ROTURA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS RECTAS Y VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS EN ARCO.	88

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. VARIACIÓN DE LA DEFORMACIÓN UNITARIA NORMAL (FIGURA N° 13. IZQUIERDA)	25
ECUACIÓN 2. VARIACIÓN DEL ESFUERZO DE FLEXIÓN (FIGURA N° 13. DERECHA)	25
ECUACIÓN 3. MOMENTO RESULTANTE EN ELEMENTOS RECTOS	26
ECUACIÓN 4. ESFUERZO NORMAL MÁXIMO EN EL PUNTO MÁS ALEJADO DEL EJE NEUTRO.	26
ECUACIÓN 5. ESFUERZO NORMAL MÁXIMO EN UN PUNTO INTERMEDIO ALEJADO DEL EJE NEUTRO	26
ECUACIÓN 6. DEFORMACIÓN UNITARIA EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE LONGITUD EN LA FRANJA.	29
ECUACIÓN 7. DEFORMACIÓN UNITARIA EN FUNCIÓN DE LA CONSTANTE K.....	29
ECUACIÓN 8. APLICACIÓN DE LA LEY DE HOOKE EN ELEMENTOS CURVOS.....	29
ECUACIÓN 9. POSICIÓN DEL EJE NEUTRO.....	29
ECUACIÓN 10. MOMENTO RESULTANTE EN ELEMENTOS CURVOS	30
ECUACIÓN 11. ESFUERZO NORMAL EN UN ELEMENTO CURVO.	30
ECUACIÓN 12. ESFUERZO NORMAL EN UN ELEMENTO CURVO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE LA POSICIÓN DEL CENTROIDE DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL Y EL EJE NEUTRO.	30
ECUACIÓN 13. CONTENIDO DE HUMEDAD.	47
ECUACIÓN 14. DENSIDAD BÁSICA	48
ECUACIÓN 15. ESFUERZO EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD ELÁSTICO.	49
ECUACIÓN 16. ESFUERZO O MÓDULO DE ROTURA	50
ECUACIÓN 17. MÓDULO DE ELASTICIDAD A LA FLEXIÓN	50
ECUACIÓN 18. DEFORMACIÓN UNITARIA	51
ECUACIÓN 19. DOBLE ESFUERZO DE CORTE	52
ECUACIÓN 20. ESFUERZO DE CORTE SIMPLE	52
ECUACIÓN 21. ESFUERZO ADMISIBLE DE FLEXIÓN	54
ECUACIÓN 22. RAZÓN DE RESISTENCIA EN FLEXIÓN	55
ECUACIÓN 23. ESFUERZO ADMISIBLE EN CIZALLA O CORTE	56
ECUACIÓN 24. MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	56
ECUACIÓN 25. ESFUERZO DE DISEÑO	58
ECUACIÓN 26. ESFUERZO DE DISEÑO EN FLEXIÓN.....	58

ECUACIÓN 27. ESFUERZO DE DISEÑO DE FLEXIÓN EN LA ZONA FLEXO-TRACIONADA ...	58
ECUACIÓN 28. ESFUERZO DE DISEÑO DE FLEXIÓN EN LA ZONA FLEXO-COMPRIMIDA ...	58
ECUACIÓN 29. ESFUERZO DE DISEÑO EN CIZALLA O CORTE.....	58
ECUACIÓN 30. ESFUERZO DE TRABAJO EN FLEXIÓN PARA VIGAS EN LA FIBRA EXTREMA	58
ECUACIÓN 31. ESFUERZO DE TRABAJO EN CIZALLA O CORTE PARA ELEMENTOS FLEXIONADOS	59
ECUACIÓN 32. ESFUERZO NORMAL A LA DIRECCIÓN DE LA FIBRA.....	59
ECUACIÓN 33. ESFUERZO DE TRABAJO EN FLEXIÓN PARA VIGAS EN LA FIBRA EXTREMA	59
ECUACIÓN 34. INTERACCIÓN DE ESFUERZOS EN EL BORDE FLEXO TRACCIONADO.....	60
ECUACIÓN 35. INTERACCIÓN DE ESFUERZOS EN EL BORDE FLEXO COMPRIMIDO	60
ECUACIÓN 36. DEFORMACIÓN O FLECHA INSTANTÁNEA.....	61
ECUACIÓN 37. DEFORMACIÓN POR CORTE	61

ANEXOS

ANEXO 1. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA ANTES DE SECAR EN HORNO	92
ANEXO 2. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DESPUÉS DE SECAR EN HORNO.	93
ANEXO 3. CONTENIDO DE HUMEDAD EN VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA RECTAS	95
ANEXO 4. CONTENIDO DE HUMEDAD EN VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA EN ARCO	96
ANEXO 5. DENSIDAD BÁSICA DE MADERA ANTES DE SECAR EN HORNO	97
ANEXO 6. DENSIDAD BÁSICA DE MADERA DESPUÉS DE SECAR EN HORNO.....	98
ANEXO 7. DENSIDAD BÁSICA EN VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA RECTAS.	99
ANEXO 8. DENSIDAD BÁSICA EN VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA EN ARCO	99
ANEXO 9. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 1	101
ANEXO 10. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 2	102
ANEXO 11. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 3	103
ANEXO 12. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 4	104
ANEXO 13. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 5	105
ANEXO 14. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 6	106
ANEXO 15. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 7	107
ANEXO 16. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 8	108
ANEXO 17. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 9	109
ANEXO 18. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 10	110
ANEXO 19. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 11	111
ANEXO 20. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 12	112
ANEXO 21. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 13	113
ANEXO 22. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 14	114
ANEXO 23. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 15	115
ANEXO 24. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 16	116
ANEXO 25. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 17	117
ANEXO 26. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 18	118
ANEXO 27. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 19	119
ANEXO 28. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA DE PROBETA ESTÁNDAR 20	120
ANEXO 29. ENSAYO DE ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA EN PROBETAS DE MADERA MACIZA	121

ANEXO 30. ENSAYO DE ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA EN PROBETAS DE MADERA ENCOLADA EN TRES ELEMENTOS	122
ANEXO 31. ENSAYO DE ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA EN PROBETAS DE MADERA ENCOLADA EN SEIS ELEMENTOS	123
ANEXO 32. CLASIFICACIÓN DE LÁMINAS PARA VIGAS RECTAS	124
ANEXO 33. CLASIFICACIÓN DE LÁMINAS PARA VIGAS EN ARCO.....	125
ANEXO 34. DISEÑO DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS RECTAS.....	126
ANEXO 35. DISEÑO DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS EN ARCO.....	132
ANEXO 36. VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES RESISTENTES PARA UNA VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD IGUAL A 1%	143
ANEXO 37. FACTOR DE MODIFICACIÓN POR DURACIÓN DE LA CARGA.....	144
ANEXO 38. FACTOR DE MODIFICACIÓN POR TEMPERATURA.....	144
ANEXO 39. FACTOR DE MODIFICACIÓN POR TRATAMIENTO QUÍMICO.	145
ANEXO 40. FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGA LAMINADA ENCOLADA RECTA 1	146
ANEXO 41. FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGA LAMINADA ENCOLADA RECTA 2.....	147
ANEXO 42. FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGA LAMINADA ENCOLADA RECTA 3	148
ANEXO 43. FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGA LAMINADA ENCOLADA RECTA 4.....	149
ANEXO 44. FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGA LAMINADA ENCOLADA RECTA 5	150
ANEXO 45. FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGA LAMINADA ENCOLADA EN ARCO 1	151
ANEXO 46. FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGA LAMINADA ENCOLADA EN ARCO 2	152
ANEXO 47. FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGA LAMINADA ENCOLADA EN ARCO 3	153
ANEXO 48. FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGA LAMINADA ENCOLADA EN ARCO 4	154
ANEXO 49. FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGA LAMINADA ENCOLADA EN ARCO 5	155
ANEXO 50. PLANO GUÍA PARA CONSTRUCCIÓN DE LAS VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS RECTAS	156
ANEXO 51. PLANO GUÍA PARA CONSTRUCCIÓN DE LAS VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS EN ARCO	157
ANEXO 52. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS.....	158

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento mecánico de una viga en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual. Los estudios se realizaron entre diciembre del 2017 y abril del 2018, mediante la obtención de madera aserrada y su posterior transformación en probetas y láminas de madera cepillada. Se hizo el estudio de propiedades físicas y mecánicas de la madera y con los resultados se diseñaron y construyeron los elementos de estudio: 05 vigas laminadas encoladas rectas y 05 vigas laminadas encoladas en arco. Las vigas, fueron ensayadas a flexión, y las variables resultantes del estudio: resistencia, deformación y tipo de falla; fueron comparados y analizados entre sí, con el fin de determinar el mejor comportamiento mecánico a flexión. Los resultados de los ensayos a flexión determinaron que las vigas de madera laminada encolada en arco tienen una resistencia promedio a la flexión de 738.858 kg/cm^2 , deformación de 7.19 cm y el tipo de falla es dúctil; mientras que las vigas de madera laminada encolada rectas tienen una resistencia promedio a la flexión de 468.815 kg/cm^2 , deformación de 5.49 cm y el tipo de falla es frágil. Se concluye que las vigas en arco de madera laminada encolada, tienen mejor comportamiento mecánico que las vigas rectas de madera laminada encolada.

Palabras Claves: Comportamiento mecánico, vigas en arco, vigas rectas, madera laminada encolada, esfuerzo a flexión

ABSTRACT

The objective of this investigation was to study the mechanical behavior of a beam in glued laminated wooden arch subjected to point loading. The studies were carried out between December 2017 and April 2018, by obtaining sawn wood and its subsequent transformation into specimens and sheets of brushed wood. The study of physical and mechanical properties of the wood was made and with the results the study elements were designed and built: 05 glued laminated beams straight and 05 glued laminated beams in arc. The beams were tested by bending, and the variables resulting from the study: resistance, deformation and type of failure; They were compared and analyzed with each other, in order to determine the best mechanical bending behavior. The results of the tests to flexion determined that the beams of glued laminated wood have an average flexural strength of 738,858 kg / cm², deformation of 7.19 cm and the type of failure is ductile; while straight glued laminated beams have an average flexural strength of 468,815 kg / cm², deformation of 5.49 cm and the type of failure is fragile. It is concluded that glued laminated wooden beams have a better mechanical behavior than straight glued laminated beams.

Key Words: Mechanical behavior, arc beams, straight beams, glued laminated wood, bending stress

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En el mundo el material más usado, es talvez, la madera; esto se debe a su bajo costo, fácil obtención y transformación. Asimismo, es en la construcción donde talvez ha sido mejor valorada; pues gracias a sus excelentes propiedades físico-mecánicas es que ha sido aprovechada para diferentes usos como: encofrados, tabiquería, pequeños elementos estructurales, etc.

Al afirmar que es en la construcción donde la madera ha sido mejor valorada. Es también correcto indicar que es en los llamados países del primer mundo donde la construcción con madera está sumamente difundida, pues ya no solo se han limitado a la construcción de pequeñas estructuras, sino que además de ello se construyen casas, almacenes, polideportivos e incluso puentes. De su experiencia destacan los estudios estructurales realizados, cuyos resultados son muy satisfactorios ya que son comparables e incluso mejores en cuanto al comportamiento estructural que con otros materiales que suelen ser muchas veces más costosos.

El masivo uso de la madera, ha logrado desarrollar esta industria y mediante estudios ha contribuido con el mejoramiento e innovación de la misma. Un ejemplo claro de este desarrollo es: la madera laminada encolada, que es un material que surge de la unión de madera en tablas con pegamento.

Este material tiene buenas características estructurales comprobadas y son las mismas por las que se dice que es una alternativa económica y eficaz para la construcción sobre todo en países como el nuestro, donde las brechas de vivienda aún son muy notorias y existe una necesidad de mejoramiento de la vivienda.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el Perú, actualmente, es frecuente la construcción de grandes edificaciones como: almacenes, coliseos, polideportivos, centros comerciales, etc. Una característica común en estas edificaciones, es la necesidad estructural de cubrir grandes luces libres. Para solucionar este problema se opta por el uso de: vigas peraltadas, armaduras y/o arcos contruidos de concreto armado o acero estructural. La solución planteada es muy eficiente en cuanto a diseño y funcionalidad, pero también puede ser muy complicada en cuanto a proceso constructivo, pues puede ser muy complejo y costoso.

Se propone entonces una alternativa, la madera laminada encolada, pues es un material muy estudiado y usado en países desarrollados y puede ser utilizado en nuestro medio.

Así tenemos que: en regiones como EEUU, Europa, Asia, y países latinoamericanos Argentina, Chile y Brasil, los beneficios de este material han sido bien aprovechados y popularizados tras grandes cantidades de madera laminada que producen. En EEUU, ya se fabrican vigas de hasta de 120 m. de largo, mientras que en Colombia se alcanzado a construir sólo vigas de máximo 60 m. de luz, aunque la industria tiene la posibilidad de fabricar elementos estructurales de mayores longitudes. (Barrera, 2010)

Al proponer a la madera laminada encolada como alternativa a otros materiales, es necesario conocer sobre los materiales que la componen y la disponibilidad de los mismos. Según datos estadísticos, se sabe que la mayor producción de madera en nuestro país se destina a leña y el resto a madera rolliza. Esto quiere decir que, mientras los recursos forestales son una parte importante de las estrategias de vida de mucha gente, éstos no se explotan a la escala y de una manera que genere valor adicional a la economía. (INEI, 2009) citado por (Ordoñez & Lugo, 2016)

Entonces, la situación problemática que se presenta en el estudio es: el limitado estudio de la madera laminada encolada y el casi nulo estudio de elementos estructurales como las vigas en arco elaboradas con el mismo material.

Basados en esta situación problemática, se realiza el estudio del comportamiento mecánico de una viga en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual, con el objetivo de obtener resultados que puedan ayudar en el diseño de madera laminada encolada y su posterior aplicación en la construcción.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el comportamiento mecánico a flexión de una viga en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La importancia de la investigación es determinar el comportamiento mecánico a flexión de vigas en arco de madera laminada encolada, para tal fin se realiza un estudio comparativo entre vigas laminadas encoladas rectas y en arco. De tal manera se determine el comportamiento mecánico a flexión de las vigas laminadas encoladas.

Este trabajo de investigación se realiza porque se puede verificar comparativamente el mejor comportamiento mecánico entre los dos tipos de vigas.

El trabajo de investigación sirve para profundizar en el estudio de madera laminada encolada y sus aplicaciones en elementos estructurales. Asimismo, con este estudio se podrá conocer sobre la elaboración de madera laminada encolada y las aplicaciones en la industria de la construcción.

Además, la presente investigación es útil, pues permite encontrar resultados que serán usados como material de consulta para estudiantes y profesionales que se desempeñen en el área de la mecánica de materiales y estructuras.

1.4 ALCANCES Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 ALCANCES

El presente trabajo de tesis se desarrolló dentro del área de la ingeniería civil, específicamente en la rama de la tecnología de materiales de construcción y estructuras, con el objetivo de estudiar el comportamiento mecánico a flexión de una viga en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual.

1.4.2 DELIMITACIÓN

La madera usada en el presente trabajo fue el pino pátula, obtenida del bosque de la empresa inversiones “Chilón”, en el centro poblado de Porcón Alto, a 6.5 km al noroeste de la cooperativa Atahualpa Jerusalén, a una altitud de 3530 msnm en zona de ladera. Así mismo, en cuanto al adhesivo se utilizó una cola sintética comercial de secado rápido, polivinil acetato en emulsión acuosa (Tekno cola ultra).

El estudio se limitó a determinar el comportamiento mecánico a flexión de una viga en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual; para realizar dicho estudio, se usó el método comparativo entre los dos tipos de vigas bajo iguales condiciones de: diseño, materiales de construcción, proceso constructivo, aplicación de carga, apoyos, sección y luz libre.

Para determinar el comportamiento mecánico de las vigas, se realizó el ensayo a flexión, ya que las vigas están diseñadas esencialmente para este comportamiento, por lo que los esfuerzos normales y de corte no serán objeto de estudio.

Las variables obtenidas del ensayo a flexión: esfuerzo, deformación y tipo de falla; serán los únicos parámetros con los cuales se determinara el comportamiento mecánico de las vigas en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual.

1.5 HIPÓTESIS

Las vigas en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual, tienen mejor comportamiento mecánico en lo que respecta a: esfuerzo a flexión, deformación y tipo de falla que las vigas rectas de madera laminada encolada sometida a carga puntual.

1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DEPENDIENTE

Esfuerzo a flexión, deformación y tipo de falla

VARIABLE INDEPENDIENTE

Vigas en arco de madera laminada encolada

Vigas rectas de madera laminada encolada

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 OBJETIVO GENERAL

- Estudiar el comportamiento mecánico a flexión de las vigas en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual.

1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de la madera de pino pátula.
- Clasificar las láminas de madera aserrada de pino pátula.
- Determinar el esfuerzo a flexión de las vigas rectas y vigas en arco de madera laminada encolada.
- Determinar las deformaciones en el límite de rotura de las vigas rectas y vigas en arco de madera laminada encolada.
- Determinar el tipo de falla de las vigas rectas y vigas en arco de madera laminada encolada.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

“Resistencia mecánica de pequeños arcos de madera laminada”. Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán; Autor: Hernández Santiago, A.; Dávalos Sotelo, R. y Salomón Quintana, I; Yucatán, México (2008)

Se elaboraron y ensayaron especímenes de madera laminada-doblada y de madera maciza de seis especies forestales de la madera con el fin de determinar sus características mecánicas para poder comparar los resultados. Se hicieron pruebas de flexión estática, de cortante paralelo a la fibra y de compresión perpendicular a la fibra. También se hicieron pruebas de flexión estática en arcos con madera laminada doblada. La conclusión fue: Los arcos que mayor carga soportaron fueron los de la especie *tabebuia rosae*; en el sentido vertical la máxima carga soportada fue de 5217 N; para *pinus pátula* la máxima carga soportada fue de 4727 N. Los arcos ensayados en posición horizontal tuvieron poca resistencia. En el caso de la especie *tabebuia rosea*, La carga máxima fue de 579 N; para la especie *pinus pátula* la carga soportada fue de 451 N. El arco en posición vertical es el que más ventajas tiene, en cuanto a capacidad de carga. (Santiago, Sotelo, & Quintana, 2008)

“Comportamiento en flexión de vigas laminadas que incorporan pino oregón”. Universidad del Bío Bío, tesis para optar el grado de Licenciado en Ciencias de la Construcción; Autor: Osvaldo Andrés Messer Soubelet; Bío Bío, Chile (2007).

En esta investigación se estudia la incorporación de pino oregón en la fabricación vigas laminadas, cuando estas se someten al esfuerzo de flexión estática. Para ello se analiza la anatomía y las propiedades mecánicas de la madera. Finalmente, mediante ensayos según norma, se pudo concluir que: el pino oregón por ser una especie liviana de baja densidad, tiene mayores cavidades por donde el adhesivo puede penetrar y ejercer valencias secundarias y por ende mayor resistencia al cizalle. Y en cuanto a la flexión resistieron más las probetas que incorporaban pino oregón, debido a que las fibras en esta especie forman una verdadera trabazón que ofrece una óptima oposición a dicho esfuerzo. (Messer, 2007)

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

“Estructuras de madera aplicadas al sector de la construcción en el Perú”. Pontificia Universidad Católica del Perú, tesis para optar el Título de Ingeniero Civil; Autor: Patricia Katherine Ordoñez García, Yessenia Katherine Lugo Chávez; Lima, Perú (2016).

Se realizó ensayos mecánicos de flexión, resistencia a la compresión paralela y perpendicular a la fibra y resistencia al corte paralelo a la fibra aplicados a especímenes de madera (especie: Pino Radiata). Con estos resultados y evaluando el proceso de agrupamiento de la madera en el Perú, se verificó la posibilidad de clasificar esta especie en la norma E.010 - madera. Los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas fueron comparados con las propiedades de especies nacionales con características similares. En una segunda etapa, se evaluó el comportamiento sísmico, aplicando la señal sísmica de mayo 1970 a un prototipo en escala real de una vivienda de tres pisos de madera. Y se pudo concluir que en esta etapa se comprueba la excelente capacidad del entramado de madera para resistir carga horizontal (corte) debido al sismo. (Ordoñez & Lugo, 2016)

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

“Estudio del comportamiento de elementos de madera estructural laminada”. Universidad Nacional de Cajamarca, tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil; Autor: Oscar Antonio, Boñón Mendoza; Cajamarca, Perú (2016).

Esta investigación tiene como objetivo realizar el ensayo de resistencia a la flexión estática; determinando el módulo de rotura, el módulo de elasticidad, el esfuerzo en el límite proporcional elástico de las vigas macizas y las vigas laminadas encoladas de pino pátula y realizar el estudio comparativo. De este estudio se concluyó que las vigas laminadas encoladas tienen propiedades físicas y mecánicas más favorables que las vigas macizas. Afirmando que la laminación, encolado y prensado de vigas, generan un mejoramiento en el comportamiento mecánico de la madera. (Boñón, 2016)

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 LA MADERA

La madera es un material biológico, poroso, celular. Las paredes celulares están constituidas fundamentalmente de celulosa, que forma largas cadenas moleculares. La

madera es un material heterogéneo porque está compuesto por más de un tipo de células y es anisotrópico, porque sus propiedades son muy diferentes de acuerdo a la dirección considerada. (Giménez, Moglia, Hernández, & Gerez, 2005)

2.2.2 PROPIEDADES DE LA MADERA

2.2.2.1 PROPIEDADES BÁSICAS

- **Material biológico**

Es un material biológico, ya que está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina. Siendo madera elaborada, puede ser biodegradada por el ataque de hongos e insectos taladradores, como son las termitas. (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

- **Material anisotrópico**

Según sea el plano o dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento, el comportamiento tanto físico como mecánico del material, presenta resultados dispares y diferenciados. (Corporación Chilena de la Madera, 2004).

Por el comportamiento diferente de la madera es necesario establecer ejes en la madera:

- **Eje tangencial** Tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal de la pieza.

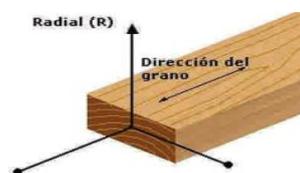
Figura N° 1. Eje tangencial de la madera.



Fuente: (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

- **Eje radial** Es perpendicular a los anillos de crecimiento y al eje longitudinal.

Figura N° 2. Eje radial de la madera.



Fuente: (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

- **Eje axial o longitudinal** Es paralelo a la dirección de las fibras y por ende. Forma una perpendicular respecto al plano formado por los ejes tangencial y radial.

Figura N° 3. Eje axial o longitudinal de la madera.



Fuente: (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

- **Material higroscópico**

Es la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento provoca cambios dimensionales en la madera. (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

2.2.2.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas de la madera determinan el comportamiento de ésta frente a agentes externos del medio natural. (Fernández, 2015)

- **Contenido de humedad (CH)**

La estructura de la madera almacena una importante cantidad de humedad. Esta se encuentra como agua ligada (savia) en las paredes celulares y como agua libre, en el interior de las cavidades celulares. (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

- **Densidad (D)**

En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad. (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

- **Contracción (C)**

El secado de la madera por debajo del punto de saturación de la fibra, provoca pérdida de agua en las paredes celulares, lo que a su vez produce contracción de la madera. (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

2.2.2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas. (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

- **Compresión paralela a la fibra**

Es la resistencia de la madera a una carga en dirección paralela a las fibras, la que se realiza en columnas cortas para determinar la tensión de rotura, tensión en el límite de proporcionalidad y módulo de elasticidad. (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

Figura N° 4. Esquema de ensayo de compresión paralela a las fibras.

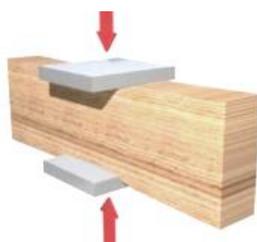


(Corporación Chilena de la Madera, 2004)

- **Compresión perpendicular a la fibra**

Es la resistencia de la madera a una carga en dirección normal a las fibras, aplicada en una cara radial, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad y tensión máxima. (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

Figura N° 5 Esquema de ensayo de compresión perpendicular a las fibras.

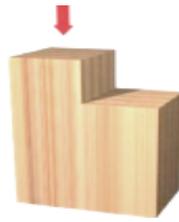


(Corporación Chilena de la Madera, 2004)

- **Cizallamiento paralelo a la fibra**

Es la medida de la capacidad de la pieza para resistir fuerzas que tienden a causar deslizamiento de una parte de la pieza adyacente. (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

Figura N° 6 Esquema de ensayo de corte simple paralelo a la fibra.

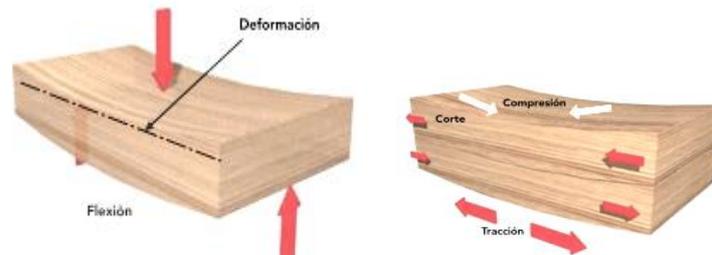


Fuente: (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

- **Flexión estática**

Es la resistencia de la viga a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad. (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

Figura N° 7. Esquema de ensayo de la flexión estática



Fuente: (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

2.2.3 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MADERA

El comportamiento mecánico es la conducta que presentan las propiedades de los materiales al ser sometidas a fuerzas mecánicas externas que tienden a alterar su capacidad de equilibrio. (Venemedia Comunicaciones C.A, 2015)

Las propiedades mecánicas de la madera determinan su resistencia, es decir, su capacidad para resistir fuerzas externas. Se entiende por fuerza externa cualquier sollicitación que, actuando exteriormente, altere su tamaño o dimensión, o la deforme de otra forma cualquiera. (Quintana, 2013)

El comportamiento mecánico de los materiales se desarrolla en compresión, tracción, corte, flexión, etc.

2.2.3.1 COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS

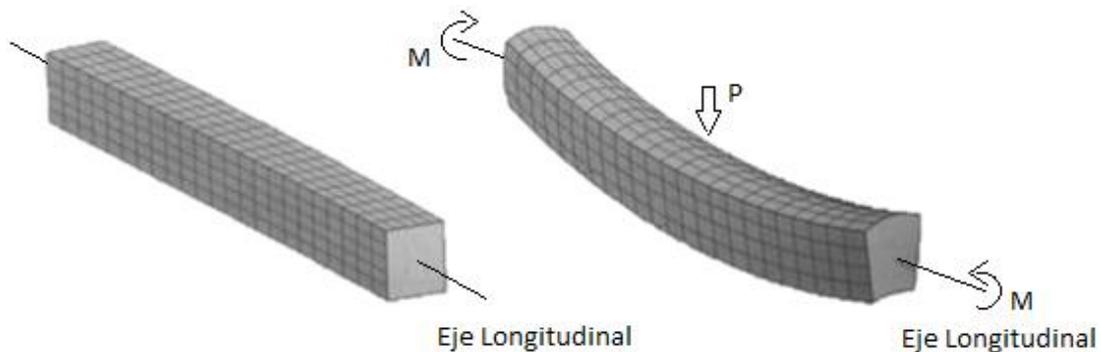
Las vigas son elementos estructurales cuya característica principal es resistir cargas transversales. Generalmente, las cargas actúan en ángulo recto con respecto al eje

longitudinal de la viga. Las cargas aplicadas sobre una viga tienden a flexionarla y se dice que el elemento se encuentra a flexión. Por lo común, los apoyos de las vigas se encuentran en los extremos o cerca de ellos y las fuerzas de apoyo hacia arriba se denominan reacciones. (Universidad Mayor de San Simón, 2013)

Las vigas son elementos estructurales lineales, permiten salvar luces y son capaces de soportar esfuerzos como: peso propio, sobrecarga, viento, nieve, etc. (Quintana, 2013)

2.2.3.2 COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN EN VIGAS HORIZONTALES O VIGAS RECTAS

Figura N° 8. Viga recta, antes y después de aplicada la carga P.

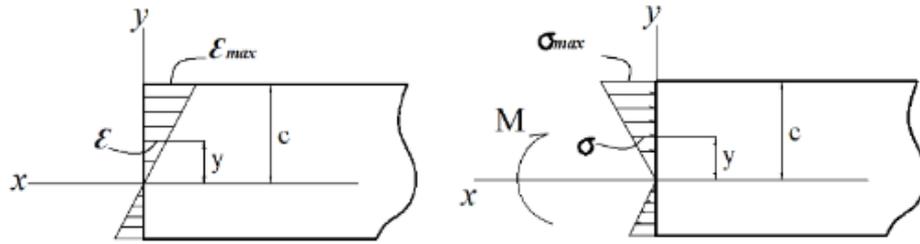


Fuente: (Hibbeler, 2011)

Para hallar una ecuación que relaciona la distribución del esfuerzo longitudinal de una viga con el momento de flexión interno resultante que actúa sobre la sección transversal de la viga. Supondremos que el material se comporta de manera elástica lineal, Por lo que es aplicable la ley de Hooke, $\sigma = E \cdot \varepsilon$ (Hibbeler, 2011)

La variación lineal de la deformación unitaria normal. Debe ser entonces la consecuencia de una variación lineal del esfuerzo normal. Por tanto, igual que la variación de la deformación unitaria normal, El esfuerzo σ variara de cero en el eje neutro del miembro a un valor máximo σ_{max} en puntos a la distancia c máxima desde el eje neutro. Por semejanza se tiene:

Figura N° 9. Variación de la deformación unitaria normal (izquierda), Variación del esfuerzo de flexión (derecha)



Fuente: (Hibbeler, 2011)

Ecuación 1. Variación de la deformación unitaria normal (figura N° 13. izquierda)

$$\varepsilon = -\left(\frac{y}{c}\right) \varepsilon_{max}$$

Ecuación 2. Variación del esfuerzo de flexión (figura N° 13. derecha)

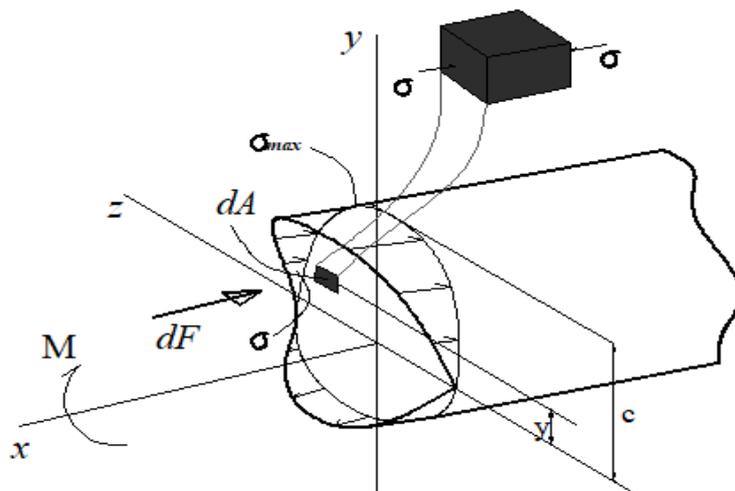
$$\sigma = -\left(\frac{y}{c}\right) \sigma_{max}$$

La posición del eje neutro de la sección transversal puede localizarse con la siguiente condición: la fuerza resultante producida por la distribución del esfuerzo sobre el área de la sección transversal debe ser igual a cero. Considerando que la fuerza actúa sobre el elemento. (Hibbeler, 2011)

$$F_R = \sum F_x \gggg 0 = dF = \sigma dA$$

$$0 = \int_A -\left(\frac{y}{c}\right) \sigma_{max} dA = \int_A -\left(\frac{y}{c}\right) \sigma_{max} dA = \frac{-\sigma_{max}}{c} \int_A y dA$$

Figura N° 10. Variación del esfuerzo flexionante.



Fuente: (Hibbeler, 2011)

El esfuerzo en la viga puede determinarse de la siguiente manera: el momento interno M resultante debe ser igual al momento producido por la distribución del esfuerzo respecto al eje neutro. El momento será:

$$(M_R)_Z = \sum F_Z \gg \gg dM = y dF \gg \gg dM = \sigma dA$$

$$M = \int_A y dF = \int_A y (\sigma dA) = \int_A y \left(\frac{y}{c} \sigma_{max}\right) dA$$

Ecuación 3. Momento resultante en elementos rectos

$$M = \frac{\sigma_{max}}{c} \int_A y^2 dA$$

Entonces despejando σ_{max} asumimos que la integral es el momento de inercia I , para calcular el esfuerzo normal a una distancia intermedia se usa la segunda expresión.

Ecuación 4. Esfuerzo normal máximo en el punto más alejado del eje neutro.

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot c}{I}$$

Ecuación 5. Esfuerzo normal máximo en un punto intermedio alejado del eje neutro

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot y}{I}$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo normal máximo en el elemento, que se produce en el punto sobre el área de la sección transversal que está más alejado del eje neutro.

M = Momento interno resultante, determinado a partir del método de las secciones y de las ecuaciones de equilibrio; se calcula respecto al eje neutro de la sección transversal.

c = La distancia perpendicular desde el eje neutro hasta el punto más alejado del eje neutro. Aquí es donde actúa σ_{max} .

y = La distancia perpendicular desde el eje neutro hasta un punto intermedio alejado del eje neutro. Aquí es donde actúa σ .

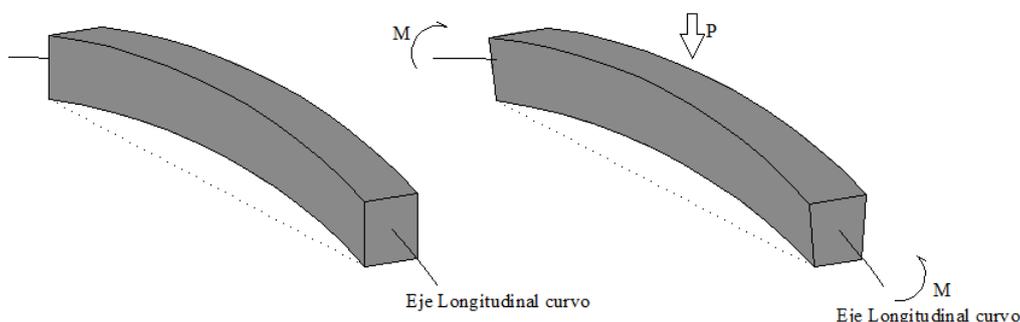
I = Momento de inercia del área de la sección transversal respecto al eje neutro.

Puntos importantes

- La sección transversal de una viga recta se mantiene plana cuando la viga se deforma debido a la flexión. Esto provoca esfuerzos de tensión en una porción de la sección transversal y esfuerzos de compresión en la parte restante. En medio existe el eje neutro que se encuentra sometido a un esfuerzo cero. (Hibbeler, 2011)
- Debido a la deformación, la deformación longitudinal varía linealmente desde cero en el eje neutro hasta un máximo en las fibras exteriores de la viga. Siempre que el material sea homogéneo y elástico lineal el esfuerzo también varía de forma lineal sobre la sección transversal. (Hibbeler, 2011)
- El eje neutro pasa por el centroide del área de la sección transversal. Este resultado se basa en el hecho de que la fuerza normal resultante que actúa sobre la sección transversal debe ser igual a cero. (Hibbeler, 2011)

2.2.3.3 COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN EN VIGAS EN ARCO O VIGAS CURVAS

Figura N° 11. Viga curva, antes y después de aplicada la carga P .



Fuente: (Hibbeler, 2011)

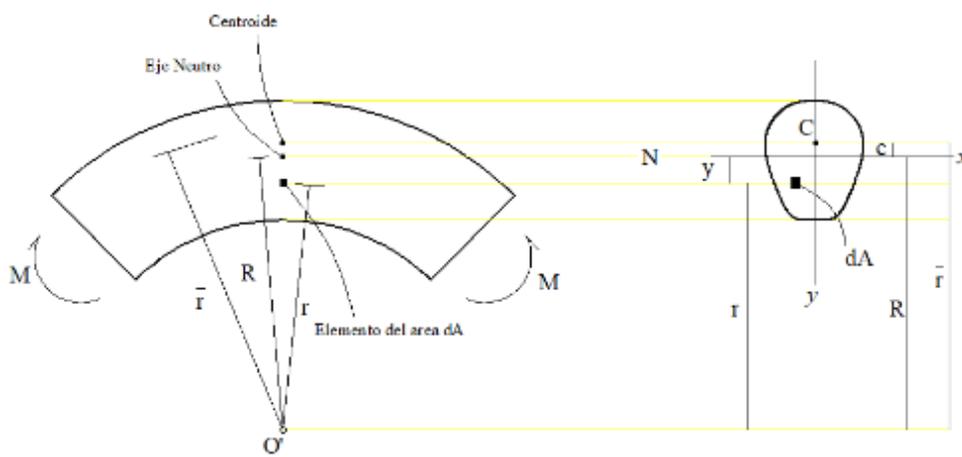
En el análisis de un miembro con eje curvo y sometido a flexión. En todos los casos los miembros no son delgados, pero tienen una curva aguda y las dimensiones de sus secciones transversales son grandes comparadas con sus radios de curvatura. El análisis supone que la sección transversal es constante y que tiene un eje de simetría perpendicular a la dirección del momento aplicado M . Supone además que el material es homogéneo e isótropo y que se comporta de manera elastoplástica cuando se aplica la carga. Como en el caso de una viga recta, supondremos para una viga curva que las secciones transversales del miembro permanecen planas después de aplicado el

momento. Además, cualquier distorsión de la sección transversal dentro de su propio plano será despreciada. (Hibbeler, 2003)

Para efectuar el análisis, se tienen tres radios, medidos desde el centro de curvatura O' del miembro son: \bar{r} : define la posición conocida del centroide de la sección transversal; R : define la posición aún no determinada del eje neutro y r : quien localiza un punto arbitrario o elemento de área dA Sobre la sección transversal. (Hibbeler, 2003)

El eje neutro se encuentra dentro de la sección transversal ya que el momento M genera compresión en las fibras superiores de la viga y tensión en sus fibras inferiores. El eje neutro es una línea de esfuerzo y deformación unitaria nulos. (Hibbeler, 2003)

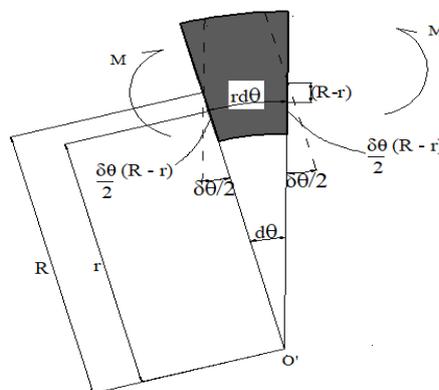
Figura N° 12. Estudio de Viga curva.



Fuente: (Hibbeler, 2011)

Si aislamos un segmento diferencial de la viga, el esfuerzo tiende a deformar el material en forma tal que cada sección transversal girará un ángulo $\delta\theta/2$. La deformación unitaria ϵ en la franja arbitraria del material localizada en r será ahora determinada.

Figura N° 13. Análisis detallado de Viga curva.



Fuente: (Hibbeler, 2011)

Esta franja tiene una longitud original $r d\theta$. Sin embargo, debido a las rotaciones $\delta\theta/2$, el cambio total en la longitud de la franja es: $\delta\theta(R-r)$. En consecuencia:

Ecuación 6. Deformación unitaria en función del cambio de longitud en la franja.

$$\varepsilon = \frac{\delta\theta (R - r)}{rd\theta}$$

Asimismo si, $k = \delta\theta/d\theta$, que es constante para cualquier elemento particular tendremos:

Ecuación 7. Deformación unitaria en función de la constante k.

$$\varepsilon = k \frac{(R - r)}{r}$$

La deformación unitaria normal es una función hiperbólica. Como el momento ocasiona que el material se comporte elásticamente, es aplicable entonces la ley de Hooke. Y reemplazando con la ecuación anterior tenemos el esfuerzo en función de la posición.

Ecuación 8. Aplicación de la ley de Hooke en elementos curvos.

$$\sigma = E \cdot k \frac{(R - r)}{r}$$

Para la posición R del eje neutro, hacemos que la fuerza interna resultante causada por la distribución del esfuerzo que actúa sobre la sección transversal sea igual a cero.

$$F_R = \sum F_x \gggg \int_A \sigma dA = 0$$

$$\int_A Ek \left(\frac{R-r}{r} \right) dA = 0 \gggg R \int_A \frac{dA}{r} - \int_A dA = 0$$

Ecuación 9. Posición del eje neutro.

$$R = \frac{A}{\int_A \frac{dA}{r}}$$

Donde:

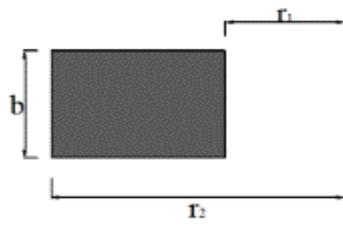
R = Posición del eje neutro, medido desde el centro de curvatura O' del miembro.

A = Área de la sección transversal del miembro.

r = Posición arbitraria del elemento de área dA sobre la sección transversal, medida desde el centro de curvatura O' del miembro.

La integral puede ser evaluada para diferentes geometrías de sección transversal

Figura N° 14. Geometría evaluada para la integral.



$$\text{Área} = b (r_2 - r_1)$$

$$\int_A \frac{dA}{r} = b \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Fuente: (Hibbeler, 2011)

Para relacionar el esfuerzo con el momento flexionante resultante, requerimos que el momento interno resultante sea igual al momento de la distribución del esfuerzo calculado respecto al eje neutro.

El esfuerzo σ , que actúa sobre el elemento de área dA y que está localizado a una distancia $y = R - r$, del eje neutro, genera una fuerza $dF = \sigma dA$ sobre el elemento y un momento respecto al eje neutro $dM = y(\sigma dA)$. Entonces para la sección transversal entera, requerimos: $M = \int_A y \sigma dA$

$$M = \int_A (R - r) Ek \left(\frac{R - r}{r} \right) dA = Ek \left(R^2 \int_A \frac{dA}{r} - 2R \int_A dA + \int_A r dA \right)$$

Ecuación 10. Momento resultante en elementos curvos

$$M = EkA(\bar{r} - R)$$

Despejando Ek y sustituyendo tal valor en la ecuación anterior y despejando σ tenemos la ecuación (izquierda), así también si reemplazamos estas expresiones $r = R - y$ y $e = \bar{r} - R$. En la primera ecuación tenemos (derecha)

Ecuación 11. Esfuerzo normal en un elemento curvo.

$$\sigma = \frac{M(R - r)}{Ar(\bar{r} - R)}$$

Ecuación 12. Esfuerzo normal en un elemento curvo en función de la distancia entre la posición del centroide de la sección transversal y el eje neutro.

$$\sigma = \frac{My}{Ae(R - y)}$$

Estas ecuaciones representan dos formas de la llamada fórmula de la viga curva, que puede usarse para determinar la distribución del esfuerzo normal en un miembro curvo. Se lo llama también esfuerzo circunferencial.

Donde:

σ = *Esfuerzo normal en el miembro*

M = *Momento interno, determinado con el método de las secciones y las ecuaciones de equilibrio, calculado respecto al eje neutro de la sección transversal. Este momento es positivo si tiende a incrementar el radio de curvatura del miembro, esto es, si tiende a enderezar el miembro.*

A = *Área de la sección transversal del miembro.*

R = *Distancia desde el centro de curvatura al eje neutro.*

\bar{r} = *Distancia desde el centro de curvatura al centroide de la sección transversal*

r = *Distancia desde centro de curvatura al punto de determinación el esfuerzo σ*

Puntos importantes

- La fórmula de la viga curva suele usarse cuando la curvatura del miembro es muy pronunciada. Si el radio de curvatura es mayor que 5 veces el peralte del miembro, la fórmula de la flexión puede usarse para determinar el esfuerzo. (Hibbeler, 2011)
- Si la curvatura inicial del elemento es pequeña, es decir, si su radio de curvatura es grande comparado con la altura de la sección, puede obtenerse una buena aproximación si se supone que el elemento es recto y se usan las ecuaciones de la flexión en elementos rectos. (Hibbeler, 2011)
- Debido a la curvatura de la viga, la deformación normal en esta no varía linealmente con la profundidad como en el caso de una viga recta. En consecuencia, el eje neutro no pasa por el centroide de la sección transversal. (Hibbeler, 2011)
- Por lo general la componente del esfuerzo radial causada por la flexión puede pasarse por alto, en especial si la sección transversal es sólida. (Hibbeler, 2011)

2.2.4 PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MADERA

2.2.4.1 CONVERSIÓN DE LA MADERA

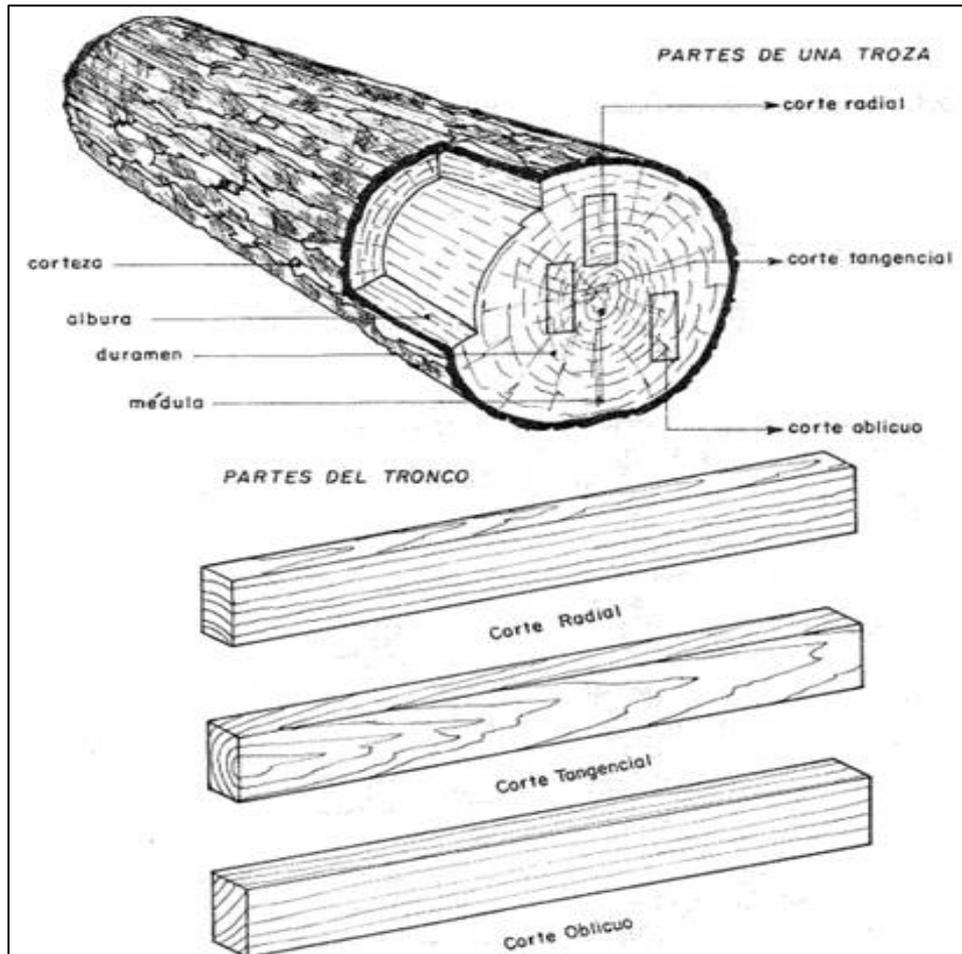
El proceso de conversión de la madera significa transformar la madera de un estado natural a un estado artificial. Este proceso se logra mediante procesos mecánicos y se trata de aprovechar en su totalidad al árbol. Esto se logra en un primer proceso mediante la extracción o tala de árboles y un segundo proceso llamado aserrado con los cortes del tronco (Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, 1984)

- **Aserrado de la madera**

Primer proceso al que se somete un tronco luego que ha sido extraído del bosque, consiste en cortar los troncos en diferentes formas, principalmente formas prismáticas. (Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, 1984)

- **Corte radial** Corte perpendicular a los anillos, siguiendo la dirección de los radios de las circunferencias definidas por los anillos de crecimiento. Con este corte se obtiene madera de calidad, sus anillos de crecimiento hacen un ángulo entre 60° y 90° con cara mayor. (Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, 1984)
- **Corte Tangencial** Corte tangente a los anillos de crecimiento. Se considera madera tangencial aquella cuyos anillos de crecimiento hacen un ángulo entre 0° y 30° con su cara mayor. (Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, 1984)
- **Corte oblicuo** Corte siguiendo una dirección arbitraria. Se considera madera oblicua aquella cuyos anillos de crecimiento hacen un ángulo entre 30° y 60° con su cara mayor. (Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, 1984)

Figura N° 15. Tipos de corte según su orientación en el tronco.



Fuente: (Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, 1984)

2.2.4.2 SECADO DE LA MADERA

Está demostrado en laboratorio se ha comprobado que la madera al secarse mejora sus propiedades tecnológicas y estabilidad dimensional; es por eso que prácticamente todas las maderas reciben un acondicionamiento físico antes de su empleo. El secado de madera consiste en la eliminación de agua que son indispensables procesos para conseguir madera de buena calidad. (Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, 1984)

Para reducir el contenido de humedad en la madera se tienen dos métodos usados en la industria: Secado al aire o secado natural y secado artificial.

- **Secado natural** Este tipo de secado se consigue exponiendo la madera a la acción del medio ambiente. El éxito de esta práctica depende de la forma en que se apile la madera, la cual debe permitir la libre circulación del aire alrededor de cada pieza que se seca. (Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, 1984)

- **Secado artificial** Es el proceso por el cual se elimina agua de la madera mediante el empleo de temperatura, humedad y ventilación, este proceso se realiza mediante aparatos e instalaciones especiales, siendo los hornos secadores los más comunes. Este secado reduce el tiempo de secado y puede adquirir la madera contenidos de humedad muy bajos. (Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, 1984)

2.2.4.3 PROTECCIÓN DE LA MADERA

La madera es un material muy propenso a ser vulnerado por acciones externas como son: ataque de insectos, hongos, fuego, etc. Estas acciones afectan directamente a sus propiedades y por ende a su calidad. Es por ello que para contrarrestar estas acciones se realizan los procesos de protección y/o preservación de la madera. (Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, 1984)

2.2.5 MADERA LAMINADA

Se define como madera laminada al material estructural obtenido de la unión de tablas entre sí mediante el uso de adhesivos, con el grano esencialmente paralelo al eje del elemento y que funciona como una sola unidad. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2014)

La madera laminada es un producto industrial que se ha utilizado en el mundo desde hace muchos años, pero en las últimas cuatro décadas su uso se ha incrementado notoriamente. Este producto tiene una alta aplicación en la vida cotidiana de las sociedades desarrolladas, desde la construcción de edificaciones hasta reemplazar productos que provienen de recursos naturales, por lo que ha adquirido un alto valor industrial y social. (Corporación Chilena de la Madera, 2004)

2.2.5.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA MADERA LAMINADA

- **Ventajas de la madera laminada**

- El adhesivo permite el uso de tablas cortas y angostas que, unidas eficientemente, pueden conformar piezas estructurales de cualquier espesor, largo, ancho y de formas no restringidas. (Pérez, 1992)

- El espesor de las tablas menor de 50 mm, permite secar la madera eficientemente, al contenido de humedad deseado (antes de usarla), con menor defecto de secado y por lo tanto, de la estructura misma. (Pérez, 1992)
- El método de fabricación permite el uso láminas de menor calidad en las zonas de baja resistencia, y utilizar madera de mejor calidad sólo en las zonas de mayor sollicitación. Es posible usar combinaciones de distintas especies. (Pérez, 1992)
- La madera laminada permite diseñar elementos que son prácticos y artísticos, en los cuales la sección transversal puede variar con los esfuerzos que queda sometido el elemento. El elemento terminado no necesita estar oculto o tener una caja de ubicación, como es el caso de otras construcciones, debido a que es estéticamente agradable. (Pérez, 1992)
- Sus grandes dimensiones en la sección transversal la hacen más resistente al fuego que construcciones de acero. (Pérez, 1992)

- **Desventajas de la madera laminada**

- Comparadas con la madera sin laminar. Son más costosas, especialmente en vigas rectas; en vigas curvas no hay comparación. El factor económico comprende 3 rubros: adhesivo, mano de obra y madera. Lo más costoso es la madera; luego tenemos el adhesivo y la mano de obra. (Pérez, 1992)
- El factor pérdida durante su fabricación es bastante elevado, alrededor de un 33% a 50%, tanto en madera como en adhesivo, debido a las uniones de extremos, terminaciones y consideraciones de diseño. (Pérez, 1992)
- El adhesivo debe estar condicionado al uso que se va a dar al elemento. Así los adhesivos para estructuras que van al exterior son de elevado costo. (Pérez, 1992)
- Se necesita, para su fabricación de equipos, mano de obra y técnicas especializadas. Se debe conocer el proceso. (Pérez, 1992)
- No siempre se pueden producir en obra, lo cual implica un costo adicional por transporte, especialmente cuando los elementos son grandes. (Pérez, 1992)
- Elementos de gran longitud y gran curvatura son difíciles de manipular, embarcar y transportar, lo que afecta el costo final del elemento. (Pérez, 1992)

2.2.5.2 APLICACIONES DE LA MADERA LAMINADA

De la madera laminada se pueden obtener diferentes formas, ya sea en sección transversal o en longitud, es la mejor ventaja que tiene este material para ser valorado.

- **Madera.** La viga recta de sección constante es la más barata de producir. Asimismo las vigas de sección variable son muy agradables del punto de vista arquitectónico. La luz máxima con estas vigas es de 30m. Aproximadamente. (Pérez, 1992)
- **Arcos.** La gran ventaja que ofrece el encolado es que hace posible la construcción de arcos muy eficientes, partiendo de laminaciones delgadas. Los arcos se diseñan dependiendo de la luz. No tiene comparación con la madera maciza. (Pérez, 1992)
- **Marcos.** Es una estructura constituida por elementos estructurales verticales, horizontales y/o inclinados. Los más frecuentes son los marcos tri-articulados, constituyendo una aplicación de la madera laminada muy atractiva desde el punto de vista arquitectónico. Este elemento es más costoso que un arco. (Pérez, 1992).

2.2.6 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA MADERA LAMINADA.

2.2.6.1 MATERIALES COMPONENTES PARA LA FABRICACIÓN DE MADERA LAMINADA

- **Madera**

Características que debe cumplir la madera usada en madera laminada

- Resistencia para ser utilizada como madera estructural; apariencia estética; facilidad para ser encolada; resistencia al agua; durabilidad natural; facilidad para secarse; trabajabilidad y otras. (Pérez, 1992)

Madera usada en laminados

- Las especies madereras más usadas en la fabricación de madera laminada son las coníferas, esto se debe a su bajo costo y su fácil obtención y además por que cumplen con la mayoría de características descritas en el punto anterior. El uso de un tipo de madera se debe a las condiciones de servicio a la cual estén sometidos los elementos estructurales fabricados con madera laminada. (Pérez, 1992)

- **Adhesivo**

Es el segundo material más importante para la obtención de madera laminada, es el material de unión de las láminas que une a las láminas por sus diferentes caras según sea necesario para finalmente obtener un elemento sólido y con mejores características.

Al escoger un adhesivo se tendrá en cuenta las condiciones de servicio, la especie maderera, el preservante utilizado (en caso se haya preservado) y el método de fabricación de la madera laminada.(Instituto Nacional de Normalización- INN, 2013)

Condiciones de servicio

- Condición de servicio 1 (interior). Son ambiente benignos, asimilables a lugares interiores, protegidos de la intemperie, de altas temperaturas y de excesos de humedad; donde la madera mantiene un contenido de humedad correspondiente a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y en que la humedad ambiente supera el 65% solo por unas pocas semanas en el año. En edificios con ventilación esporádica donde la madera permanece con contenidos de humedad menores que 12%, tal como son las viviendas y oficinas. En esta condición de servicio, el contenido de humedad de la madera de la mayoría de las especies coníferas no excede el 12%. (Instituto Nacional de Normalización- INN, 2013)

Condición de servicio 2 (Exterior bajo techo con humedad ocasional). Son ambientes con variaciones de temperaturas y de humedad ambiente altas y cíclicas; donde la madera mantiene un contenido de humedad correspondiente a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y en que la humedad ambiente supera el 85% solo por unas pocas semanas en el año. En lugares en donde los elementos estructurales están expuestos a un ambiente interior con alta humedad relativa y protegidos del sol y de la lluvia tal como son las piscinas cubiertas y los galpones de lavanderías. En esta condición de servicio, el contenido de humedad de la madera de la mayoría de las especies coníferas excede el 12% pero sin llegar al 20%. (Instituto Nacional de Normalización- INN, 2013)

- Condición de servicio 3 (Exterior con exposición a intemperie). Son lugares con condiciones de temperaturas y de humedad más severas que la condición de servicio 2. Son ambientes donde la humedad de la madera supera el 20% frecuentemente o por lapsos prolongados. En lugares en donde los elementos estructurales están expuestos a la intemperie, o en los que la temperatura es mayor que 30°C o en

aquello en que la humedad ambiente es alta. (Instituto Nacional de Normalización-INN, 2013)

Tipos de adhesivo

- Adhesivos tipo I. Para elementos estructurales en todas las condiciones de servicio.
- Adhesivos tipo II. Para elementos estructurales en condicion de servicio 1 o 2.

Tabla 1. Tipos de adhesivos para uso en diferentes condiciones ambientales.

Tipo de adhesivo	Temperatura del lugar	Equivalencia climática	Ejemplos	Equivalencia con condiciones de servicio
I	>50°C	No especificado	Exposición prolongada a temperatura elevada	1, 2, 3
I	<=50°C	HR>85% a 20°C	Exposición completa a la intemperie	1, 2, 3
II	<=50°C	HR<=85% a 20°C	Edificios con ventilación y/o calefacción. Exterior protegido de la intemperie o periodos cortos de exposición a la intemperie.	1, 2

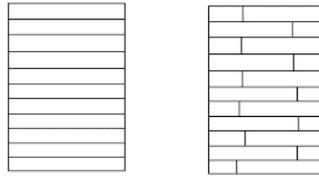
Nota: Ambientes con humedad relativa (HR) de 85% a 20°C provocan que el contenido de humedad de la madera sea de 20% aprox. en las maderas de coníferas y en la mayoría de las latifoliadas

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización- INN, 2013)

2.2.6.2 TIPO DE LAMINADO PARA LA FABRICACIÓN DE MADERA LAMINADA

Los elementos de madera laminada están formados por un determinado número de láminas ubicadas paralela al eje del elemento. A su vez, las láminas están compuestas por una o más tablas de madera unidas de canto, cuya fibra es paralela al largo de la pieza. Por razones de secado y economía fundamentalmente, se ha llegado a la conclusión que el espesor de las láminas no debe ser inferior a 19 mm, ni sobrepasar los 50 mm (Pérez, 1992)

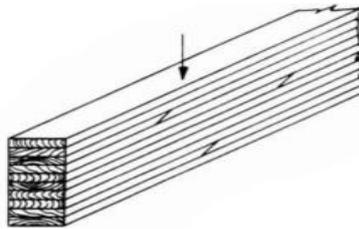
Figura N° 16. Composición del ancho de láminas usadas en vigas.



Fuente: (Pérez, 1992)

- **Laminación horizontal.** Cuando las láminas son paralelas al plano neutro de flexión del elemento.

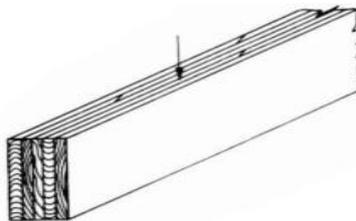
Figura N° 17. Laminación horizontal.



Fuente: (Pérez, 1992)

- **Laminación vertical.** Cuando las láminas son normales al plano neutro de flexión.

Figura N° 18. Laminación vertical.



Fuente: (Pérez, 1992)

2.2.6.3 PROCESO DE FABRICACIÓN DE MADERA LAMINADA

El proceso de fabricación de madera laminada es en cierto modo complejo por la cantidad de maquinaria, mano de obra y espacio a utilizar, estos recursos siempre serán indispensables si hablamos de una producción a nivel industrial. Pero muy aparte de la magnitud de la fábrica, es conveniente contar con un orden básico en las áreas de trabajo donde se desarrollarán las diferentes actividades de producción. (Pérez, 1992)

- **ÁREA DE PRE ENCOLADO**

- o **Almacenamiento**

Hace referencia al almacenamiento de la madera seca en lugares adecuados, para poder mantener su contenido de humedad óptimo según cada elemento. (Pérez, 1992)

- **Almacenamiento al aire libre** Se usa para almacenar madera secada al aire, parcial o totalmente. Para madera que posee un contenido de humedad inferior a 20% y no necesita reducirlo. La madera aserrada estará dispuesta en forma de pilas sólidas (rumas) y protegidos contra la intemperie, deben estar bajo techo de tal forma que permita un secado hasta llegar a la humedad de equilibrio del lugar. (Pérez, 1992)
- **Almacenamiento en galpones abiertos** Se usa también para madera secada al aire libre, la madera aserrada se deberá poner a cierta altura del piso, usando madera o un piso resistente y abierto en forma de enrejado por debajo. (Pérez, 1992)
- **Almacenamiento en galpones cerrados** Se usa para madera secada artificialmente que tiene un contenido de humedad bajo, el galpón deberá tener ventilación en el techo y en paredes que puedan cerrarse o abrirse cuando existe humedad o calor. (Pérez, 1992)
- **Almacenamiento en galpones con ambiente controlado** También se usa para madera aserrada, secada artificialmente. En este tipo de almacenamiento la temperatura y la humedad relativa son controlados a voluntad y se hace circular el aire caliente por todas las partes del galpón. (Pérez, 1992)

A fin de evitar problemas en las laminaciones, por cambios de temperatura, se recomienda almacenar la madera seca en lugares donde se pueda controlar la temperatura y la humedad relativa, se recomienda una temperatura de 16° y una humedad relativa de 65%.

- o **Clasificación**

Es el proceso por el cual se escoge las láminas de madera teniendo en cuenta su resistencia estructural y aspecto. Para este trabajo se procederá de acuerdo a la norma chilena NCh 2150. Que indica que la clasificación será de manera visual o mecánica. (Pérez, 1992)

- **Clasificación visual** Consiste en inspeccionar la pieza de madera de manera visual y clasificar las superficies de las caras, cantos y cabezas, de acuerdo a los defectos que en ellas se presenten. (Instituto Nacional de Normalización- INN, 2013)
- **Clasificación mecánica** Consiste en realizar un ensayo a rotura además de verificar la relación entre el módulo de elasticidad y la deformación. (Instituto Nacional de Normalización- INN, 2013)

o **Contenido de humedad**

El contenido de humedad óptimo es aquel que produce la unión encolada más resistente y que al ser incrementada por el adhesivo se acerque al contenido de humedad de equilibrio que tendrá el elemento laminado cuando este en servicio. El incremento de contenido de humedad depende del espesor de las láminas, tipo de adhesivo, de la especie de madera y de la cantidad de adhesivo esparcido. (Pérez, 1992)

o **Uniones de extremo**

Estas uniones se realizan para aumentar la longitud de una lámina, pueden ser: de tope, biseladas, dentados. (Pérez, 1992)

El encolado y prensado debe hacerse en esta área de tal manera que no se desplacen. Se recomienda que en la zona de nudos no se realicen uniones pues son difíciles de encolar y podrían empezar una delaminación, la norma chilena dice que se podría hacer una unión si el diámetro del nudo es menor que el espesor de lámina. (Pérez, 1992)

o **Elaboración de láminas**

Se deben tomar en cuenta dos procesos importantes

- **Espesor de láminas** Para laminados rectos se usa láminas de hasta 50 mm de espesor, para laminados en elementos curvos se usa láminas de menor espesor que están relacionados directamente con el radio de curvatura. (Pérez, 1992)

Las láminas hechas de coníferas pueden ser dobladas hasta un radio de curvatura de 150 veces su espesor, mientras menor sea el espesor se podrá obtener un menor radio de curvatura, mayor doblez. (Pérez, 1992)

- **Cepillado de las láminas** Este proceso se realiza una vez que se tiene la madera aserrada, se realiza para que al encolar la superficie de la lámina obtengamos una

buena unión entre ellas, asimismo también para uniformizar el espesor en toda la longitud de la lámina. (Pérez, 1992)

Cuando las láminas han sido cepilladas, la variación del espesor en todo el largo debe ser menor a 0.4mm. en cualquier punto. (Pérez, 1992)

o **Ensamble en seco**

Consiste en ubicar las láminas como mejor cumplan con las especificaciones, ensamblándose tal como van a quedar, pero sin adhesivo. (Pérez, 1992)

• **ÁREA DE ENCOLADO, PRENSADO Y FRAGUADO**

o **Preparación de moldes y prensas**

Consiste en verificar el tipo de elemento a fabricar para determinar herramientas y equipos adecuados para su fabricación, en este caso moldes y prensas. (Pérez, 1992)

o **Preparación de adhesivo**

Consiste en preparar el adhesivo según las indicaciones del fabricante, la cantidad a usar dependerá del tipo de adhesivo, de la especie a encolar y de sus características. (Pérez, 1992)

o **Esparcido**

Consiste en esparcir el adhesivo por toda la superficie de la lámina, este proceso se puede hacer con brochas, rodillos, pistolas o esparcidoras mecánicas (encoladoras), Se recomienda esparcir el adhesivo en; 250 – 450 gr/m². (Pérez, 1992)

o **Prensado**

Las láminas luego de ser encoladas, se proceden a colocarlas en las prensas según se dispuso en el ensamblado en seco. Seguidamente se procederá con el ajuste de las prensas haciendo uso de la llave de torque u otro elemento adecuado. (Pérez, 1992)

El prensado puede empezar en cualquier punto, pero debe avanzar hasta los extremos, el prensado se realiza siempre que el adhesivo no haya fraguado. (Pérez, 1992)

La presión debe ser tal que provoque un escurrimiento parejo del adhesivo a lo largo de la línea de cola. Para coníferas presión de: 7 kg/cm² y para latifoliadas 10 kg/cm². (Pérez, 1992)

- o **Reapriete**

Este proceso consiste en aplicar nuevamente presión a las prensas, este proceso se realiza cuando las prensas han perdido presión, en primera instancia se realiza después de 15 a 20 minutos del primer ajuste esto es debido muchas veces al escurrimiento del pegamento, luego con el paso del tiempo se verificará una caída de presión y se procederá otra vez al reapriete, este proceso se repetirá las veces que sean necesarias. (Pérez, 1992)

- o **Tiempo de prensado**

Es el proceso por el cual se deja al elemento ensamblado en el molde y sometido a presión por cierta cantidad de tiempo y en las condiciones ambientales del lugar de tal manera que las líneas de cola alcancen su fraguado y por ende una buena resistencia. Este tiempo de prensado es recomendado por los fabricantes e instituciones de investigación. (Pérez, 1992)

- o **Maduración**

Una vez que el elemento haya sido removido de la prensa empezara la etapa de maduración que consiste en inmovilizar el elemento bajo condiciones ambientales del lugar y durante un tiempo determinado donde el adhesivo desarrollara su mayor resistencia. Este proceso podría durar una a dos semanas según el tipo de adhesivo y la temperatura ambiental. (Pérez, 1992)

- **ÁREA DE TERMINACIONES**

- o **Elaboración**

Se procede a cortar las puntas que no serán parte del elemento (despunte), se hace el limpiado del adhesivo escurrido durante el prensado (cepillado) y finalmente se pulen la superficie mediante lijado (pulido). Este proceso se realizará según corresponda. (Pérez, 1992)

- o **Dimensiones y tolerancias**

Para obtener las dimensiones y formas de los elementos a producir se debe saber el uso para el cual se producirá los elementos laminados. (Pérez, 1992)

- **Tolerancias** Son aplicables a las dimensiones de las caras del producto terminado. Según la norma chilena NCh 2148 tenemos:

Tabla 2. Tolerancias en aristas para el producto terminado.

ANCHO	
+- 2mm	
ALTURA	
+ 1% con un máximo de 3 mm cada 300mm	
El mayor valor entre - 5 mm o -2 mm cada 300 mm	
LONGITUD	
L < 6 m	± 2 mm
L ≥ 6 m	± 0.03 %

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización- INN, 2013)

- **Curvatura y rectitud.** Aplicable a la terminación del elemento, ya sea recto o curvo sin tomar en cuenta la deformación por peso propio, estas tolerancias son aplicables para elementos rectos y ligeramente curvos. Según la norma NCh 2148 tenemos:

Tabla 3. Tolerancias en longitud para elementos rectos o curvos.

LONGITUD	
L ≤ 6 m	± 6 mm
L > 6 m	± [6 mm + 0.5*(L-6)] mm, con un máximo de 20 mm

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización- INN, 2013)

o **Clasificación.**

Es la clasificación por aspecto que se realiza en las superficies de las caras del elemento laminado terminado (Pérez, 1992)

La norma chilena NCh 2148 especifica las clases definidas para una clasificación por aspecto las cuales son:

- **Arquitectónica** Cada elemento de esta clase debe presentar sus caras cepilladas y lijadas, además que los huecos deben ser rellenados, las caras exteriores deben estar libres de nudos sueltos y agujeros. Recomendado para usos donde el aspecto es de primera importancia. Son aptos para ser pulidos y barnizados. (Pérez, 1992)

- **Comercial** Cada elemento debe presentar sus caras cepilladas, los daños y manchas en las superficies no necesitan ser mejorados. Las láminas exteriores deben estar libres de nudos sueltos y agujeros. Se recomienda para usos en los cuales el elemento queda a la vista pero donde el aspecto no es importante. No se recomienda pulir o barnizar. (Pérez, 1992)
- **Industrial** El elemento de esta clase se usa tal como sale de la prensa, los daños y manchas en las caras no necesitan ser mejoradas. Se recomienda para usos donde el elemento queda oculto. (Pérez, 1992)

o **Protección y Preservación**

Los elementos laminados deben ser adecuadamente recubiertos con sustancias preservantes que impidan la absorción de agua. Esta protección debe hacerse obligatoriamente, más aún si el elemento va a estar expuesto a la intemperie. Existen dos métodos para proteger los laminados. (Pérez, 1992)

- **Tratamiento después del encolado** Es un método económico, pero a la vez menos seguro pues las líneas de cola impedirán que el preservante penetre al interior del elemento. (Pérez, 1992)
- **Tratamiento de las láminas antes del encolado** Es un método más costoso pero a la vez es muy seguro pues se aplica a cada lámina debidamente cepillada asegurando una mejor absorción de la sustancia para luego volver a ser cepillada, secada y finalmente encolada. (Pérez, 1992)

La elección del método de protección y preservación, dependerá de las condiciones ambientales a que el elemento laminado quedará expuesto. Así mismo se recomienda usar alguna sustancia retardadora de fuego. (Pérez, 1992)

o **Inspección y Ensayos**

Se debe realizar el control del proceso de fabricación de los elementos laminados en todas las etapas de fabricación. Control diario de la producción, ensayos físicos, Inspección visual, etc. (Pérez, 1992)

2.2.7 ESTUDIO DEL PINO PÁTULA

• DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

Árbol de porte mediano a grande, que en ejemplares longevos puede alcanzar alturas de hasta 40 m y 120 cm de diámetro. El tronco es recto, cilíndrico en un comienzo y bastante cónico en casi toda su longitud. En árboles jóvenes, inicialmente la corteza es lisa y rojiza, y luego, ésta se torna marrón, áspera y se desprende en escamas. La distribución de las ramas es des uniforme, aunque en general son verticiladas, las ramas pequeñas son escamosas y rojizas. La copa es extendida con ramas largas y colgantes. (Ospina & Hernandez, 2011)

• DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA

Tabla 4. Descripción taxonómica del pino pátula.

Familia:	Pinaceae
Nombre científico:	Pinus pátula
Nombre común:	Pino
Nombres comunes relacionados:	Pino chino, pino colorado, pino llorón.

Fuente: (Vinueza, 2010)

• PROPIEDADES DE LA MADERA DE PINO PÁTULA

Tabla 5. Densidad del pino pátula

	anhidra (g/cm³)	básica (g/cm³)
Densidad	0.48	0.43

Fuente: (Vinueza, 2010)

• USOS DE LA MADERA DE PINO PÁTULA

En el norte del Perú en la provincia de Cajamarca se ha desarrollado desde 1986 el Proyecto Piloto de Forestación que comprende alrededor de 3500 ha de bosques de pino, donde el pinus pátula representa un 62,5% de la superficie plantada; así mismo, uno de los principales objetivos del proyecto fue abastecer de madera rolliza las industrias dedicadas a la obtención de productos madereros como tableros de partículas, parihuelas y madera aserrada en las provincias de La Libertad y Cajamarca (ADEFOR, 2005) citado por (Ortega, 2014).

2.3 BASE NORMATIVA EN EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1 BASE NORMATIVA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

2.3.1.1 ENSAYO PARA DETERMINAR CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)

Objetivo

Determinar mediante el método de secado en estufa el contenido de agua existente en la madera de pino pátula utilizando la Norma Técnica Peruana NTP 251.010

Equipos

- Balanza electrónica, con precisión de 0.01 g.
- Estufa de secado, con circulación de aire, regulable a $101\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$

Importancia y uso

El contenido de humedad es una de las variables más importantes que afectan las propiedades de la madera. Los procedimientos establecidos en estos métodos de ensayo están estructurados de forma tal que permitan su aplicación en todo rango de uso, desde la investigación básica hasta el procesamiento industrial. (INACAL, 2014)

Procedimiento

Las probetas para contenido de humedad se pesan en la balanza electrónica para luego introducirlas en la estufa durante 24 horas. Luego de 24 horas se vuelven a registrar los pesos de cada probeta de contenido de humedad y haciendo los cálculos correspondientes, se obtiene el contenido de humedad de cada probeta.

Cálculo y expresión de resultados

Ecuación 13. Contenido de humedad.

$$CH = \frac{m1 - m2}{m2} \times 100$$

Donde:

m1 = masa de la probeta antes del secado (gr)

m2 = masa de la probeta después del secado (gr)

2.3.1.2 ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD (D)

Objetivo

Determinar la relación entre el peso y el volumen de la madera de pino pátula utilizando la Norma Técnica Peruana NTP 251.011

Equipos

- Balanza electrónica, con precisión de 0.01 g.
- Estufa de secado, con circulación de aire, regulable a $101\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$

Procedimiento

Se toman las medidas de cada probeta de densidad en cada arista, se recomienda tomar tres medidas para lograr mayor precisión, éstas medidas se promedian y se calcula el volumen de cada probeta. Se registra el peso de cada probeta en la balanza electrónica para finalmente introducirlas en la estufa durante 24 horas. Luego de las 24 horas en la estufa se registran los pesos de cada probeta y haciendo los cálculos correspondientes, se obtiene la densidad básica de cada probeta.

Cálculo y expresión de resultados

Para calcular la densidad se tiene que tener en cuenta el estado de la madera en dos estados, en estado saturado y anhidro. Así tenemos la siguiente expresión:

Densidad básica (DB)

Relaciona la masa en estado anhidro y el volumen de la madera en estado saturado.

Ecuación 14. Densidad básica

$$DB = \frac{mA}{VS} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Donde:

mA: Masa de la probeta en estado anhidro (gr)

VS: Volumen de la probeta en estado saturado (cm³)

2.4 BASE NORMATIVA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

2.4.1.1 ENSAYO PARA DETERMINAR EL ESFUERZO A FLEXIÓN

Objetivo

Determinar el esfuerzo a flexión, el esfuerzo en el límite de proporcionalidad elástico y el módulo de elasticidad de las probetas estándar y vigas laminadas de madera de pino pátula, para este proceso se usa la Norma Técnica Peruana NTP 251.017

Equipos

- Máquina o prensa universal.
- Soporte o barra de acero para uniformizar la carga.
- Nivel de ingeniero para leer las deformaciones que se producen en este ensayo.

Procedimiento

Las probetas y las vigas se colocan en la máquina de ensayo sobre apoyos en cada lado, Seguidamente se coloca la barra de acero sobre las probetas, de tal manera la carga aplicada pueda ser distribuida en todo el ancho de la probeta. La carga es aplicada progresivamente hasta la rotura, mientras la carga es aplicada se van midiendo las deflexiones con el nivel de ingeniero. Esta recopilación de datos permite posteriormente en gabinete elaborar el diagrama carga – deformación. Finalmente, cuando las probetas y vigas hayan sido ensayadas, se analizará la viga y el tipo de falla sufrida.

Cálculo y expresión de resultados

Para calcular los esfuerzos a flexión se sigue según las formulas siguientes:

Carga en el límite de proporcionalidad (P_l)

Se determina sobre la curva carga – deformación, trazando una tangente desde cero hasta donde la tangente se separa de la curva.

Esfuerzo en el límite de proporcionalidad elástico ($F_{b,f}$)

Ecuación 15. Esfuerzo en el límite de proporcionalidad elástico.

$$F_{b,f} = \frac{3P_l L}{2bh^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Donde:

Plp: Carga en el límite de proporcionalidad (kg)

L: Distancia entre soportes, luz de la probeta (cm)

b: Ancho de la sección transversal de la probeta (cm)

h: Altura de la sección transversal de la probeta (cm)

Esfuerzo o módulo de rotura (MOR)

Ecuación 16. Esfuerzo o módulo de rotura

$$MOR = \frac{3QL}{2bh^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Donde:

Q: Carga de ruptura máxima (kg)

L: Distancia entre soportes, luz de la probeta (cm)

b: Ancho de la sección transversal de la probeta (cm)

h: Altura de la sección transversal de la probeta (cm)

Módulo de elasticidad a la flexión (MOE)

Ecuación 17. Módulo de elasticidad a la flexión

$$MOE = \frac{P_{lp}L^3}{4bh^3\delta_{lp}} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Donde:

Plp: Carga en el límite de proporcionalidad (kg)

L: Distancia entre soportes, luz de la probeta (cm)

B: Ancho de la sección transversal de la probeta (cm)

H: Altura de la sección transversal de la probeta (cm)

δlp: Deflexión en el límite de proporcionalidad (cm)

Deformación unitaria (Du)

Ecuación 18. Deformación unitaria

$$Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$$

Donde:

δ : Deflexión (cm)

h: Altura de la sección transversal de la probeta (cm)

L: Distancia entre soportes, luz de la probeta (cm)

2.4.1.2 ENSAYO PARA DETERMINAR EL ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA

Objetivo

Determinar el esfuerzo de corte paralelo a la fibra, de probetas macizas y encoladas de madera de pino pátula, para este proceso se usa la Norma Técnica Peruana NTP 251.013 y la teoría del doble esfuerzo de corte del libro de Mecánica de Materiales de R. C. Hibbeler 3 edición.

Equipos

Máquina o prensa universal.

Procedimiento

Se colocan las probetas debajo del pistón de la máquina de ensayo, Seguidamente se aplica la carga progresivamente hasta que la probeta falla. Se registra el valor de la carga final se lo procesa en gabinete. Finalmente, cuando las probetas hayan sido ensayadas, se analiza y estudia el tipo de falla sufrida.

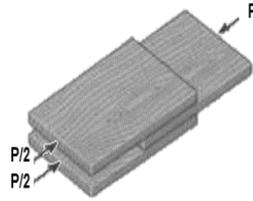
Cálculo y expresión de resultados

Para cuando las probetas tienen dos juntas traslapadas y pasamos una sección entre cada uno de los miembros, los diagramas del cuerpo libre del miembro central es la suma de los dos esfuerzos de cada pieza lateral traslapada.

- **Cizallamiento doble o cortante doble** Cuando la junta se construye en tres elementos, que se consideran dos superficies cortantes. Ese tipo de conexiones se llaman juntas traslapadas dobles. El esfuerzo se genera cuando se aplica una fuerza

paralela a las fibras en uno de los elementos hasta separarlos de las uniones comunes. (Hibbeler, 2003)

Figura N° 19 Esquema de ensayo de doble esfuerzo cortante paralelo a la fibra.



Fuente: (Hibbeler, 2003)

Doble esfuerzo de corte (τ_d)

Ecuación 19. Doble esfuerzo de corte

$$\tau_d = \frac{P}{2A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Esfuerzo de corte simple (τ)

Ecuación 20. Esfuerzo de corte simple

$$\tau = \frac{\tau_d}{2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Donde:

P : Carga de rotura (kg)

A : Área de corte (cm^2)

2.4.2 BASE NORMATIVA PARA ELABORACIÓN Y ESTUDIO DE MADERA LAMINADA ENCOLADA

2.4.2.1 MADERA LAMINADA ENCOLADA – REQUISITOS E INSPECCIÓN

Objetivo

Cumplir con los requisitos mínimos en la producción y elaboración de madera laminada encolada. Se utiliza la Norma Chilena NCh 2148 of 2013.

Procedimiento

Se sigue las indicaciones de la norma de acuerdo a las etapas de elaboración de la madera laminada. La norma en el punto 4 incide en los requisitos de fabricación y específicamente en el Contenido de humedad y en el punto 5 incide en la resistencia al esfuerzo de corte en la línea de encolado.

Cálculo y expresión de resultados

El cálculo y la expresión de los resultados están basados específicamente en el cumplimiento de la presente norma y en el cumplimiento de las recomendaciones dadas por la norma en cuanto a Contenido de Humedad y resistencia al esfuerzo de corte en la línea de encolado.

Contenido de Humedad

La norma indica que al ensamblar cada lámina de madera no tratada debe de estar en el rango de 8 – 15% de contenido de Humedad.

Resistencia al esfuerzo de corte en la línea de encolado.

- El valor promedio de resistencia al corte sobre la línea de encolado debe ser mayor o igual al 90% del valor de resistencia al corte de un elemento de madera no laminada (maciza)
- Para elementos estructurales de madera laminada encolada de pino o de otras maderas con densidad menor a 0.5 gr/cm^3 se acepta un valor de resistencia al corte de 4 MPa (40.7886 Kg/cm^2)

2.4.2.2 CLASIFICACIÓN VISUAL DE MADERA ASERRADA USADA PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE MADERA LAMINADA

Objetivo

Clasificar y determinar el grado de la madera aserrada que será usada para la construcción de las vigas de madera laminada encolada mediante el método de clasificación visual utilizando la Norma chilena NCh 2150 of 89

Herramientas:

01 wincha

Procedimiento:

Se determina el defecto más sobresaliente en cada lámina, seguidamente se ubica la lámina a clasificar sobre dos caballetes y se la divide por tramos de 30 cm, con el marcador se resalta el contorno de los nudos para medir su diámetro.

Cálculo y expresión de resultados

Las medidas recopiladas se anotan en un formato y se sigue el siguiente criterio

Grado A: Si la suma de las magnitudes de todos los nudos contenidos en cada tramo de 30 cm no excede el 35% del ancho de la cara (0.35a)

Grado B: Si la suma de las magnitudes de todos los nudos contenidos en cada tramo de 30 cm no excede el 50% del ancho de la cara (0.50a)

La madera destinada a la fabricación de madera laminada, se clasifica en dos grados: Grado A y Grado B, identificando a la madera de mejor calidad con el grado A.

2.4.2.3 ESFUERZOS ADMISIBLES PARA LA MADERA LAMINADA ENCOLADA ESTRUCTURAL DE PINO

Objetivo

Determinar los esfuerzos admisibles que se deben asignar a la madera laminada encolada estructural. Se utiliza la Norma Chilena NCh 2165 of 91

Procedimiento

En primer lugar, se clasifica la madera, luego se sigue la norma donde se encuentra el Esfuerzo de flexión, cizallamiento y el módulo de elasticidad admisible.

Cálculo y expresión de resultados

Para calcular los esfuerzos admisibles se sigue según las formulas siguientes:

Esfuerzos Admisibles para madera Laminada

Esfuerzo admisible de flexión (F_f)

Ecuación 21. Esfuerzo admisible de flexión

$$F_f = k \cdot RR_f \cdot F_{b,f} \text{ (MPa)}$$

Donde:

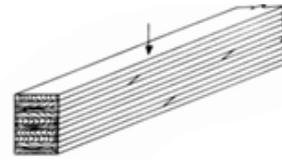
$k = 0.85$ (si $h < 375\text{mm}$); 0.75 (si $h > 375\text{mm}$)

RR_f : Razón de resistencia en flexión

$F_{b,f}$: Esfuerzo básico en flexión, Esfuerzo en LPE (tabla 7, columna 1 o usar el esfuerzo calculado en ensayo) (kg/cm^2 , MPa)

Tabla 6. Esfuerzos básicos

GRADO	LAMINACION HORIZONTAL				
	Carga Normal a las caras de las laminas				
	FLEXION	CIZALLE	TRACCIÓN NORMAL	COMPRESIÓN NORMAL	MÓDULO DE ELASTICIDAD
	$F_{b,f}$	$F_{b,cz}$	$F_{b,tn}$	$F_{b,cn}$	$F_{L,b,x}$
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
A	19	1.3	0.43	2.8	11000
B	19	1.3	0.43	2.8	9000



Fuente: (Instituto Nacional de Normalización- INN, 1991)

Razón de resistencia en flexión (RR_f)

La Resistencia de la madera laminada horizontalmente es menos afectada por los nudos presentes en las láminas que quedan cerca del plano neutro de flexión que por aquellos ubicados en las láminas exteriores del elemento laminado.

De esta manera, la influencia de los nudos sobre la resistencia depende tanto de su tamaño como de su ubicación respecto al plano neutro y la mejor forma de cuantificar este efecto es a través de sus momentos de inercia.

Si $RR_f < 0.50$; se trabaja con $RR_f = 0.50$

Ecuación 22. Razón de resistencia en flexión

$$RR_f = (1 + 3R_i) \cdot (1 - R_i)^3 \cdot (1 - R_i/2)$$

Donde:

$$R_i = IK/IG = x_i + d_i \cdot \frac{(\sum_0^n Z^2)^{1/2}}{\sum_0^n Z}$$

IK : Momento de Inercia de todos los nudos presentes en zonas de 150 mm de longitud, ubicación a ambos lados de la sección crítica de la viga.

IG : Momento de Inercia de la sección transversal de la viga.

x_i, d_i : Datos de nudos en flexión, (tabla 10).

N : Número de láminas ($n = 2N$) ; $N = n/2$

$$\sum_0^n Z = 2N^3 \quad ; \quad \sum_0^n Z^2 = 0.4.(N.(9N^4 - 5N^2 + 1))$$

Tabla 7. Datos para evaluar la razón IK/IG.

Madera aserrada destinada a la fabricación de láminas				
GRADO	x_i	$F_{b,cz}$	$F_{b,tn}$ Percentilla de 99.5%	$d_i = m_i - x_i$
A	0.11	0.3769	0.73	0.62
B	0.145	0.4225	0.84	0.695

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización- INN, 1991)

Esfuerzo admisible en cizalla o corte (F_{cz})

Ecuación 23. Esfuerzo admisible en cizalla o corte

$$F_{cz} = RR_{cz} \cdot F_{b,cz} \text{ (MPa)}$$

Donde:

RR_{cz} : Razón de resistencia = 1

$F_{b,cz}$: Esfuerzo básico de cizalla o corte (tabla 8, columna 3 o usar el esfuerzo calculado en el ensayo) (kg/cm², MPa)

Módulo de elasticidad admisible (E_L)

Ecuación 24. Módulo de elasticidad

$$E_L = 0.95 \cdot E_{L,b} \text{ (MPa)}$$

Donde:

$E_{L,b}$: Módulo de elasticidad de láminas externas, (tabla 8, columna 6 o usar el Mód. de elasticidad calculado en ensayo) (kg/cm², MPa)

2.4.2.4 CONSTRUCCIONES DE MADERA – CÁLCULO – ESFUERZOS DE DISEÑO PARA MADERA LAMINADA ENCOLADA

Objetivo

Establecer los métodos y procedimientos de diseño estructural que determinan las condiciones mínimas que deben cumplir los elementos y las uniones en las

construcciones de madera aserrada, elaborada, laminada-encolada y postes de madera. Se utiliza la Norma Chilena NCh 1198 of 2006, inciso N° 10.

Procedimiento

En primer lugar, se calculan los esfuerzos admisibles, de acuerdo a la Norma Chilena NCh 2165 of 2005, Luego con la norma se calculan los factores de modificación, esfuerzos de diseño, deformaciones y verificación del diseño.

Cálculo y expresión de resultados

En el diseño de elementos simples sometidos a flexión se debe verificar que:

$$\text{Esfuerzo de Trabajo} \leq \text{Esfuerzo de diseño}$$

$$\text{Deformación solicitante (Flecha de cálculo)} \leq \text{Deformación admisible (Flecha especificada en la presente norma)}$$

Para el diseño de madera laminada se debe seguir como sigue: calcular los esfuerzos admisibles, factores de modificación, esfuerzos de diseño, esfuerzos de trabajo deformaciones y verificación del diseño. Así tenemos:

Esfuerzos admisibles y módulos elásticos

Las tensiones admisibles y los módulos de elasticidad que se deben asignar a la madera laminada estructural fabricada con láminas conformadas con madera aserrada clasificada según NCh2150, son las especificadas en NCh2165

Factores de modificación

Son factores a considerar en la determinación de los esfuerzos de diseño que se deben asignar a los elementos estructurales en madera laminada encolada. Tenemos los siguientes: por contenido de humedad (K_H), por duración de carga (K_D), por Temperatura (K_T), por tratamiento químico (K_Q), por volcamiento ($K_{\lambda V}$), por volumen (K_V), por curvatura (K_{CL}), Por tensión normal radial (K_r), Tensión de trabajo en el ápice (K_θ) (Estos tres últimos sólo para elementos con curvatura). Ver inciso 10.3 y 10.7 (Factores de modificación) de la NCh 1198 of 2006.

Esfuerzos de diseño

Los esfuerzos de diseño se determinan como el producto de los esfuerzos admisibles por los factores de modificación que resulten pertinentes.

Ecuación 25. Esfuerzo de diseño

$$F_{diseño} = F_{admisible} \cdot \text{Factor de Modificación}$$

Esfuerzo de diseño en flexión ($F_{f,dis}$)

Ecuación 26. Esfuerzo de diseño en flexión

$$F_{f,dis} = F_f \cdot K_{modificación} \text{ (MPa)}$$

Donde:

F_f : Esfuerzo admisible en flexión (MPa)

$K_{modificación}$: Factores de modificación

Ecuación 27. Esfuerzo de diseño de flexión en la zona flexo-traccionada

$$F_{ft,dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_T \cdot K_Q \cdot K_V \cdot K_C \cdot K_{hf} \cdot K_{cl}$$

Ecuación 28. Esfuerzo de diseño de flexión en la zona flexo-comprimida

$$F_{fv,dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_T \cdot K_Q \cdot K_V \cdot K_C \cdot K_{\lambda v} \cdot K_{cl}$$

Esfuerzo de diseño en cizalla o corte ($F_{cz,dis}$)

Ecuación 29. Esfuerzo de diseño en cizalla o corte

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \cdot K_{modificación} \text{ (MPa)}$$

Donde:

F_{cz} : Esfuerzo admisible en cizalla o corte (MPa)

$K_{modificación}$: Factores de modificación

Esfuerzos de trabajo

Esfuerzo de trabajo en flexión para vigas en la fibra extrema (f_f)

Ecuación 30. Esfuerzo de trabajo en flexión para vigas en la fibra extrema

$$f_f = \frac{M_{max}}{W_m} \leq F_{f,dis}$$

Donde:

M_{max} : Momento máximo de flexión (N.mm)

W_m : Módulo de flexión de sección transversal, rectangular: $W_m = b \cdot h^3 / 6$ (mm³)

Esfuerzo de trabajo en cizalla o corte para elemento flexionados (f_{cz})

Ecuación 31. Esfuerzo de trabajo en cizalla o corte para elementos flexionados

$$f_{cz} = \frac{1.5 \cdot Q}{b \cdot h} \cdot 10^{-3} \leq F_{cz.dis}$$

Donde:

Q : Fuerza de corte máximo (KN)

b, h : Ancho y altura de la sección de la viga (mm)

Esfuerzo normal a la dirección de la fibra ($f_{tn,max}$)

Para vigas de altura variable, rectas o curvas se debe verificar que en la cumbrera, el valor máximo del esfuerzo normal a la dirección de la fibra ($f_{tn,max}$) satisfaga la condición:

Ecuación 32. Esfuerzo normal a la dirección de la fibra

$$f_{tn,max} = K_r \frac{M_{max}}{W_m} \leq F_{tn.dis} \text{ o } F_{cn.dis}$$

Donde:

$$K_r = A + B \left(\frac{h_m}{R_m} \right) + C \left(\frac{h_m}{R_m} \right)^2$$

$$A = 0.2 \operatorname{tg} \phi_t$$

$$B = 0.25 - 1.5 \operatorname{tg} \phi_t + 2.6 \operatorname{tg}^2 \phi_t$$

$$C = 2.1 \operatorname{tg} \phi_t - 4 \operatorname{tg}^2 \phi_t$$

$F_{tn.dis}, F_{cn.dis}$: Esfuerzo de diseño de tracción y compresión normal a la fibra

Esfuerzo de flexión en el borde interior u horizontal, según proceda ($f_{f,max}$)

Ecuación 33. Esfuerzo de trabajo en flexión para vigas en la fibra extrema

$$f_{f,max} = K_\theta \frac{M_{max}}{W_m} \leq F_{f.dis}$$

Donde:

$$K_\theta = D + E \left(\frac{h_m}{R_m} \right) + F \left(\frac{h_m}{R_m} \right)^2 + G \left(\frac{h_m}{R_m} \right)^3$$

$$D = 1 + 1.4 \operatorname{tg} \phi_t + 5.4 \operatorname{tg}^2 \phi_t$$

$$E = 0.35 - 8 \operatorname{tg} \phi_t$$

$$F = 0.6 + 8.3 \operatorname{tg} \phi_t - 7.8 \operatorname{tg}^2 \phi_t$$

$$G = 6 \operatorname{tg}^2 \phi_t$$

En vigas rectas de altura variable, si radio de curvatura $Rm = \infty$, se anula el factor (hm/Rm)

En vigas curvas de altura constante no existe desangulación entre el borde y los planos de laminación, por lo que $\phi_t = 0$

Interacción de esfuerzos

Cuando la dirección de la fibra se desarrolla en forma desangulada con respecto al borde de la viga se inducen, adicionalmente esfuerzos normales a la dirección de la fibra (f_n), y esfuerzos de cizalla o corte (f_{cz}), debiendo controlarse que:

Ecuación 34. Interacción de esfuerzos en el borde flexo traccionado

$$\left(\frac{f_{f,max}}{F_{ft,dis}}\right)^2 + \left(\frac{f_{tn,max}}{1.25F_{tn,dis}}\right)^2 + \left(\frac{f_{cz}}{1.33F_{cz,dis}}\right)^2 \leq 1$$

Ecuación 35. Interacción de esfuerzos en el borde flexo comprimido

$$\left(\frac{f_{f,max}}{F_{fv,dis}}\right)^2 + \left(\frac{f_{cn}}{F_{cn,dis}}\right)^2 + \left(\frac{f_{cz}}{2.66F_{cz,dis}}\right)^2 \leq 1$$

Deformaciones

Deformaciones o flechas máximas admisibles en vigas de madera (f_f)

Tabla 8. Deformaciones máximas admisibles en vigas de madera.

TIPO DE VIGAS	Deformaciones máximas admisibles considerando:	
	Exclusivamente sobrecarga	Peso propio mas sobrecarga
1. Vigas de techo	-	-
1.1 Construcciones industriales y agrícolas	-	L/200 o L/400
1.2 Oficinas y construcciones habitacionales	-	-
1.2.1 Con cielos enyesados o similares	L/360	L/300
1.2.2 Sin cielos enyesados o similares	-	L/300

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización- INN, 2006)

Deformación o flecha instantánea (δ_{inst}) Para una viga bi apoyada.

Ecuación 36. Deformación o flecha instantánea

$$\delta_{inst} = \frac{5 \cdot q_t \cdot L^4}{384 \cdot E_{adm} \cdot I} \text{ (mm)}$$

Donde:

q_t : Carga aplicada (N)

E_{adm} : Módulo de elasticidad longitudinal admisible (N/mm²)

I : Inercia de la sección transversal (mm⁴)

L : Longitud de la viga (mm)

Deformación por corte (f_{cz}) Para vigas simplemente apoyadas cuya relación $L/h < 20$, es recomendable incorporar, para verificar la flecha, la componente de deformación por corte δ_Q , que en forma aproximada se puede estimar así:

Ecuación 37. Deformación por corte

$$\delta_Q = \frac{1.2 \cdot M}{G \cdot A} \cdot 10^{-6} \text{ (mm)}$$

Donde:

M : Momento flector máximo en (KN.m)

G : Módulo de corte, $G=E_f/15$ (MPa)

E_f : Módulo de elasticidad básico (N/mm²)

A : Sección transversal de la viga (mm²)

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS ESCENARIOS DE LA INVESTIGACIÓN

La madera de pino pátula con la cual se trabajó fue de la cooperativa Atahualpa Jerusalén - Granja Porcón mediante su asociado, la empresa: Inversiones y Transportes “Chilón” Ubicada en la Av. Héroes del Cenépa N° 225 – Cajamarca –Cajamarca.

Figura N° 20. Ubicación geográfica de la empresa Inversiones y Transportes “Chilón”



Fuente: Google Earth, 2016

La elaboración de las vigas y demás elementos de estudio se realizó en la carpintería del Señor Segundo Terrones ubicada en el Jr. Emancipación N° 114, Barrio La Florida, Cajamarca - Cajamarca.

Figura N° 21. Ubicación geográfica de Carpintería del sr. Segundo Terrones.



Fuente: Google Earth, 2016

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la Av. Atahualpa (carretera Cajamarca – Baños del Inca) N° 1050, Cajamarca - Cajamarca

Figura N° 22. Ubicación geográfica de La Universidad Nacional de Cajamarca.



Fuente: Google Earth, 2016

3.2 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Tipo de investigación: Descriptivo, porque describe el fenómeno estudiado.

3.3 POBLACIÓN DE ESTUDIO

Se considera como población de estudio a las plantaciones de pino pátula obtenida del bosque de la empresa inversiones “Chilón” en el centro poblado de Porcón Alto, a 6.5 km al nor oeste de la cooperativa Atahualpa Jerusalén, a una altitud de 3530 msnm en zona de ladera.

Figura N° 23. Zona de obtención de madera - Porcón



Fuente: Google Earth, 2016

3.4 MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

Se considera como muestra a las probetas de ensayo obtenidas de la madera proveída por la empresa inversiones “Chilón”.

Tabla 9. Muestras de investigación

ENSAYO	UNIDAD	CANT.	DIMENSIONES	GRÁFICO
Contenido de humedad.	Probetas	80	$b=3\text{cm}, h=3\text{cm},$ $L=10\text{cm}$	
Densidad básica	Probetas	80	$b=3\text{cm}, h=3\text{cm},$ $L=10\text{cm}$	
Clasificación visual de láminas	Láminas de madera	16	$b=10.5\text{cm}, h=2\text{cm},$ $L=3.20\text{m}$ $b=10.5\text{cm}, h=2\text{cm},$ $L=3.80\text{m}$	
Esfuerzo de corte paralelo a la fibra	Probetas	30	$b=9\text{cm}, h=5\text{cm},$ $L=15\text{cm}$	

Flexión estática en probetas estándar.	Probetas	20	$b=5\text{cm}, h=5\text{cm},$ $L=76\text{cm}$	
Flexión estática en vigas rectas	Vigas rectas de madera laminada.	5	$b=9\text{cm}, h=18\text{cm},$ $L_v=3.10\text{ m}$	
Flexión estática en vigas en arco	Vigas en arco de madera laminada.	5	$b=9\text{cm}, h=18\text{cm}, f$ $=32\text{ cm}$ $L_v=3.2\text{ m},$ $L_l = 3.10\text{m}$	

3.5 UNIDAD DE ANÁLISIS

Para la realización del estudio, se construyeron y analizaron 05 vigas rectas de madera laminada encolada y 05 vigas en arco de madera laminada encolada.

El proceso constructivo de las unidades de análisis estuvo limitado a: las condiciones de los materiales existentes en nuestra ciudad; a las escuadrías estándar y al pre-dimensionamiento de sección propuestas en la Norma Chilena de madera laminada; a las dimensiones de la maquina universal. (Ver anexo 34 y anexo 35)

Figura N° 24. Detalle de vigas rectas de madera laminada encolada

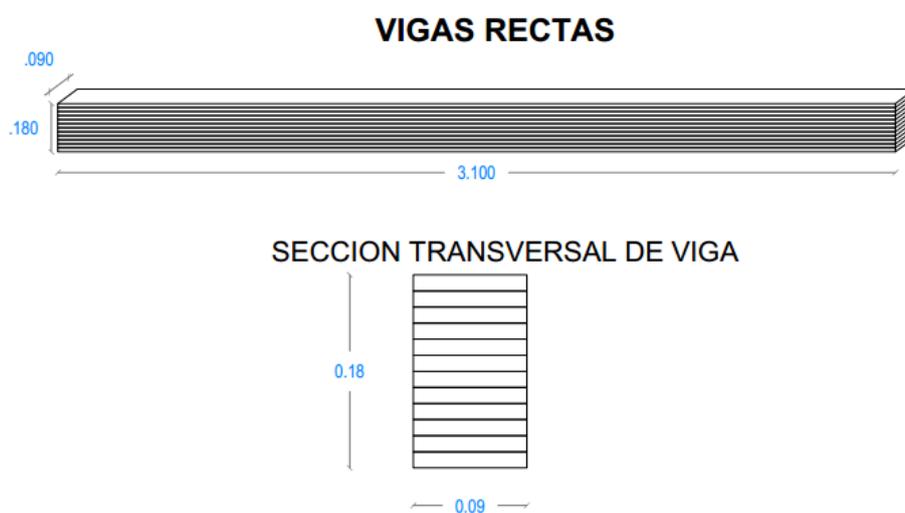
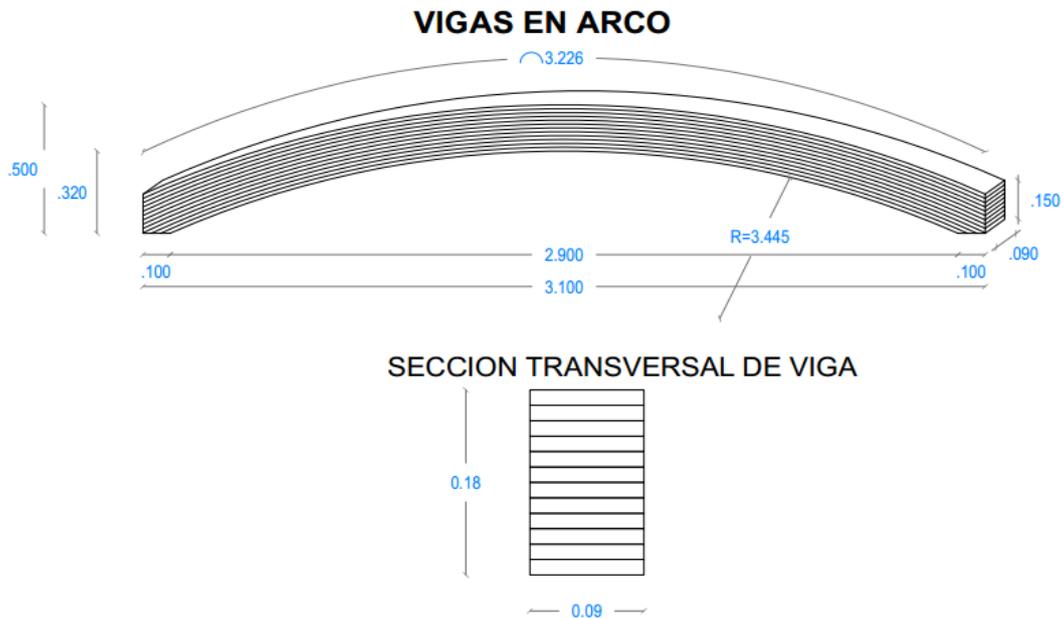


Figura N° 25. Detalle de vigas en arco de madera laminada encolada



3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- Técnicas: Se revisó información sobre el área a la cual pertenece el estudio, Sistematización de información de la cual se extrajo los puntos mas importantes que sirvieron de base bibliografica para la elaboración del presente estudio.
- Instrumentos: Los instrumentos utilizados fueron: cuaderno de notas, fichas de observación, formatos, etc. Los datos recopilados fueron: dimensión de las probetas, deformaciones, tipos de falla, carga máxima aplicable.

3.7 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- Los resultados obtenidos fueron sistematizados en tablas, cuadros y gráficos.
- De cada gráfico, cuadro o tabla se realizó el análisis y la discusión de datos y resultados en función de los objetivos, hipótesis y marco teórico.

3.8 EQUIPOS Y MATERIALES

3.8.1 EQUIPOS

- Balanza de capacidad de 0.5 kg con precisión de 0.01gr
- Horno con termostato con controlador de temperatura
- Deformímetro con aproximación de 0.01mm

- Máquina de ensayo universal de 50 toneladas

3.8.2 MATERIALES

- Madera de pino pátula
- Probetas para determinar propiedades físico-mecánicas de la madera de pino pátula.
- Láminas de madera aserrada de pino pátula
- Vigas rectas y vigas en arco de madera laminada encolada

3.9 CODIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE ESTUDIO

Para la realización de la tesis se codifico cada elemento de estudio según el ensayo correspondiente, así tenemos:

- Probetas para contenido de humedad: *CH -i*
- Probetas para densidad básica: *DB -i*
- Probetas para flexión estática: *P-i*
- Probetas para doble esfuerzo de corte paralelo a la fibra: *C-i*
- Láminas componentes de las vigas rectas de madera laminada: *LR-i*
- Láminas componentes de las vigas en arco de madera laminada: *LC-i*
- Vigas rectas de madera laminada: *VLR-i*
- Vigas en arco de madera laminada: *VLC-i*

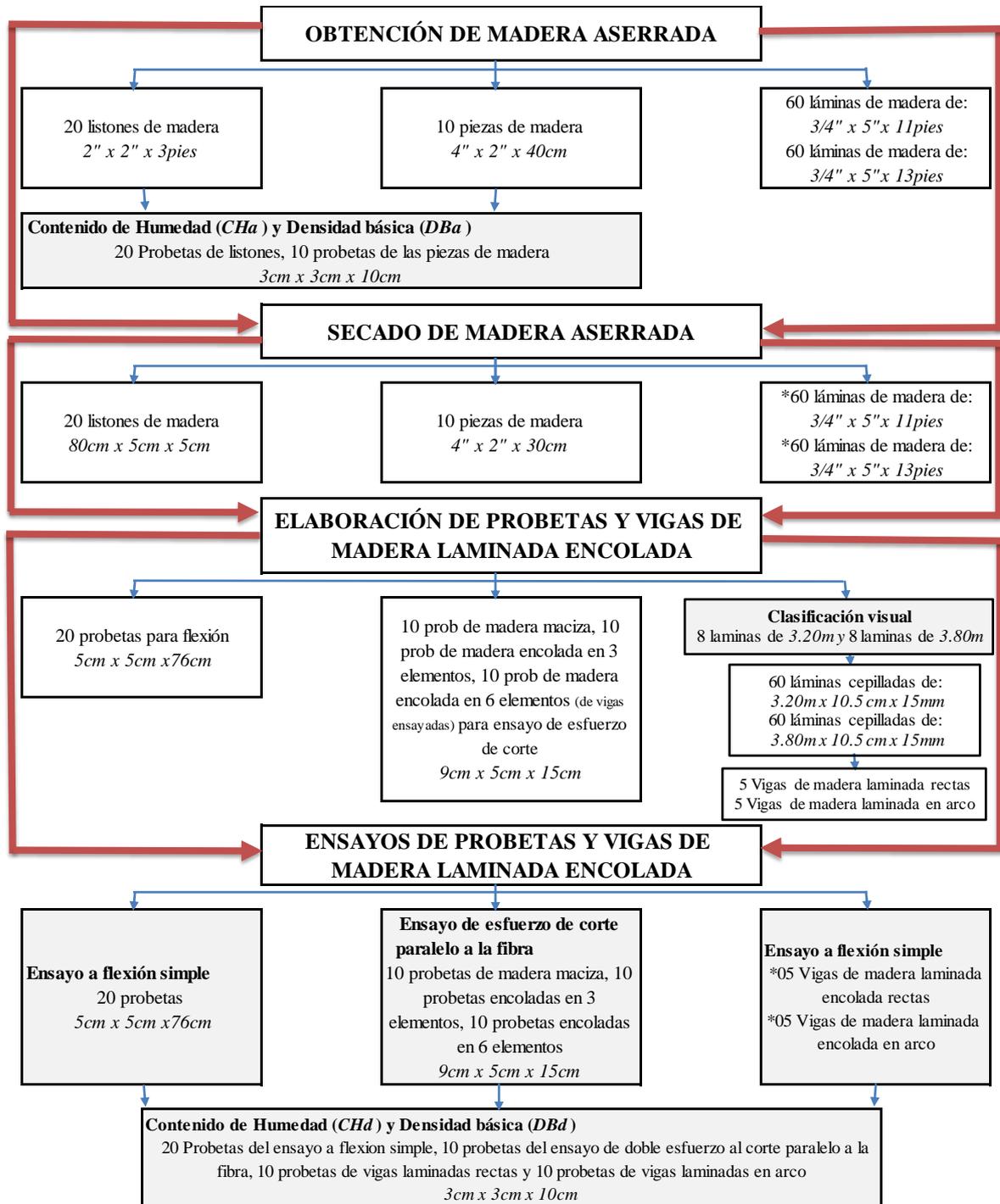
3.10 PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS

Para el desarrollo de este trabajo de investigación, se verificaron las propiedades físicas de la madera: contenido de humedad y densidad, de tal manera cumpla con la norma.

Al no cumplir con la humedad requerida fue necesario secarla en horno. La madera seca fue trasladada a la carpintería donde se elaboraron probetas de ensayo y vigas de madera laminada encolada. Se elaboraron probetas para flexión simple y se ensayaron en laboratorio donde también se controló el contenido de humedad, el cual resulto dentro de los límites establecidos por norma. Asimismo, se elaboraron probetas para ensayo de corte paralelo a la fibra con madera maciza y con las vigas laminadas ensayadas: probetas de madera maciza, probetas de madera encolada en 3 elementos y probetas de madera encolada en 6 elementos (extraídas de las vigas ensayadas).

Con una muestra de 16 láminas aserradas, se realizó la clasificación visual, y con los datos obtenidos además del ensayo a flexión se diseñaron las vigas.

Las vigas fueron ensayadas en el laboratorio y se logró estudiar el comportamiento mecánico: esfuerzo a flexión, deformación y tipo de falla.



3.10.1 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

3.10.1.1 DETERMINACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)

La finalidad de controlar el contenido de humedad es que las láminas a unir tengan una humedad entre 8% y 15% que son los límites que establece la Norma Chilena NCh2148 of 89 para la elaboración de madera laminada.

Para calcular el contenido de humedad en la madera se procedió de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 251.010.

El contenido de humedad de la madera fue controlado en diferentes etapas de la investigación, principalmente cuando se adquirió la madera (antes de secar) y luego de secar en horno.

También se controló el contenido de humedad de las vigas laminadas después de ser ensayadas.

- **Contenido de humedad antes de secar en horno**

De la madera adquirida (antes de secar) se extrajeron 30 muestras, de las cuales 20 fueron de los listones y 10 de los trozos. Con estas muestras se realizó el ensayo y se calculó el contenido de humedad promedio de la madera antes de secar en horno. (Anexo 1)

- **Contenido de humedad después de secar en horno**

Luego de secar la madera y realizar el ensayo a flexión, se volvió a verificar el contenido de humedad para lo cual se extrajo 30 muestras, de las cuales 20 correspondieron a las probetas a flexión ensayas y 10 a los trozos de madera destinadas para ensayo de corte. Con estas muestras se realizó el ensayo y se calculó el contenido de humedad promedio de la madera después de secar en horno. (Anexo 2)

- **Contenido de humedad de vigas laminadas encoladas rectas**

Luego de ensayar las vigas laminadas encoladas rectas también se verificó el contenido de humedad de las mismas, para lo cual se extrajo 02 muestras por viga, haciendo un total de 10. Con estas muestras se realizó el ensayo y se calculó el contenido de humedad promedio de las vigas laminadas encoladas rectas. (Anexo 3)

- **Contenido de humedad de vigas laminadas encoladas en arco**

Luego de ensayar las vigas laminadas encoladas en arco también se verificó el contenido de humedad de las mismas, para lo cual se extrajo 02 muestras por viga, haciendo un total de 10. Con estas muestras se realizó el ensayo y se calculó el contenido de humedad promedio de las vigas laminadas encoladas en arco. (Anexo 4)

3.10.1.2 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD (D)

Se mide este parámetro con la finalidad de clasificar la madera en el grupo que le corresponda según el Reglamento Nacional de Edificaciones y el Manual de diseño para maderas del grupo Andino Padt Refort que indican que el pino es una madera liviana que pertenece al grupo C y tiene una densidad entre 0.40 – 0.55 gr/cm³.

Para calcular la densidad en la madera se procedió de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 251.011.

La densidad de la madera fue controlada en diferentes etapas, principalmente cuando se adquirió la madera (antes de secar) y luego de secar en horno.

También se controló la densidad de las vigas laminadas después de ser ensayadas.

- **Densidad antes de secar en horno**

De la madera adquirida (antes de secar) se extrajeron 30 muestras, de las cuales 20 fueron de los listones y 10 de las piezas. Con estas muestras se realizó el ensayo y se calculó la densidad promedio de la madera antes de secar en horno. (Anexo 5)

- **Densidad después de secar en horno**

Luego de secar la madera y realizar el ensayo a flexión, se verificó la densidad para lo cual se extrajo 30 muestras, de las cuales 20 correspondieron a las probetas a flexión ensayadas y 10 a los trozos de madera destinadas para ensayo de corte. Con estas muestras se realizó el ensayo y se calculó la densidad promedio de la madera después de secar en horno. (Anexo 6)

- **Densidad de vigas laminadas encoladas rectas**

Luego de ensayar las vigas laminadas encoladas rectas se verificó la densidad de las mismas, para lo cual se extrajo 02 muestras por viga, haciendo un total de 10. Con estas

muestras se realizó el ensayo y se calculó la densidad promedio de las vigas laminadas encoladas rectas. (Anexo 7)

- **Densidad de vigas laminadas encoladas en arco**

Luego de ensayar las vigas laminadas encoladas en arco se verificó la densidad de las mismas, para lo cual se extrajo 02 muestras por viga, haciendo un total de 10. Con estas muestras se realizó el ensayo y se calculó la densidad promedio de las vigas laminadas encoladas en arco. (Anexo 8)

3.10.2 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

3.10.2.1 DETERMINACIÓN DE FLEXIÓN ESTÁTICA

Este ensayo se realizó con la finalidad de calcular los esfuerzos y el módulo de elasticidad promedio de la madera de pino pátula que sirvió para calcular los esfuerzos admisibles en el diseño de elementos estructurales de madera laminada encolada.

Para calcular la flexión estática en la madera se procedió de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 251.017

- **Flexión estática en probetas estándar**

Luego de secar la madera, se habilitaron 20 probetas estándar que fueron ensayadas y se calculó el esfuerzo a flexión promedio. (Anexo 9-28)

3.10.2.2 DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA

Este ensayo se realizó con la finalidad de calcular el esfuerzo de corte promedio de la madera, este valor sirvió para calcular los esfuerzos admisibles de corte en el diseño de madera laminada encolada.

Así también se realizó el mismo ensayo en probetas unidas con adhesivo que sirvió para verificar la resistencia al esfuerzo de corte en la línea de encolado.

Para calcular el esfuerzo de corte paralelo a la fibra se procedió de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 251.013 y a la teoría del doble esfuerzo de corte del libro de Mecánica de Materiales de R. C. Hibbeler 3 edición.

El ensayo se realizó con tres tipos de probetas: probetas de madera maciza, probetas de madera encolada en tres elementos, probetas de madera encolada en seis elementos (de vigas laminadas ensayadas).

- **Esfuerzo de corte paralelo a la fibra en probetas de madera maciza**

Con las 10 piezas de madera seca se elaboró 01 probeta de madera maciza por cada pieza. Con estas probetas se realizó el ensayo y se calculó el esfuerzo de corte promedio de la madera. (Anexo 29)

- **Esfuerzo de corte paralelo a la fibra en probetas de madera encolada en 3 elementos**

Con elementos rectangulares extraídos de las piezas de madera seca se elaboraron 10 probetas de madera encolada en tres elementos. Con estas probetas se realizó el ensayo y se calculó el esfuerzo de corte promedio de la línea de cola. (Anexo 30)

- **Esfuerzo de corte paralelo a la fibra en probetas de madera encolada en 6 elementos**

De las vigas laminadas ensayadas se habilitaron 10 probetas de madera encolada en seis elementos. Con estas probetas se realizó el ensayo y se calculó el esfuerzo de corte promedio de la línea de cola. (Anexo 31)

3.10.3 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES PARA LA ELABORACIÓN Y ESTUDIO DE MADERA LAMINADA ENCOLADA

3.10.3.1 REQUISITOS E INSPECCIÓN

Esta etapa se realizó con la finalidad de cumplir requisitos para la elaboración de madera laminada encolada según la Norma Chilena NCh 2148 of 2013.

Los requisitos que se controlaron básicamente fueron: contenido de humedad y resistencia de la línea de cola al esfuerzo de corte.

- **Contenido de humedad**

Contenido de humedad para ensamblar láminas de madera deberá variar en: 8% – 15%

El contenido de humedad de la madera con la que se elaboraron las vigas de madera laminada encolada es de $CH\% = 10.70\%$.

- **Resistencia de la línea de cola al esfuerzo de corte**

En el ensayo de corte, se obtuvieron resultados para tres tipos de probetas (probetas de madera maciza, probetas encoladas en tres elementos y probetas encoladas en seis elementos). Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Esfuerzo de corte para probetas de madera maciza promedio $\tau_{CMM} = 42.66 \text{ Kg/cm}^2$
- Esfuerzo de corte para probetas de madera encolada en tres elementos promedio $\tau_{CME} = 35.49 \text{ Kg/cm}^2$
- Esfuerzo de corte para probetas de madera encolada en seis elementos promedio $\tau_{CVL} = 34.57 \text{ Kg/cm}^2$

Primera recomendación de la norma: El valor promedio de resistencia al corte sobre la línea de encolado debe ser mayor o igual al 90% del valor de resistencia al corte de un elemento de madera no laminada (maciza)

Segunda recomendación de la norma: Para elementos estructurales de madera laminada encolada de pino o de otras maderas con densidad menor a 0.5 gr/cm^3 se acepta un valor de resistencia al corte de 4 MPa (40.7886 Kg/cm^2)

3.10.3.2 CLASIFICACIÓN VISUAL DE MADERA ASERRADA

Este estudio se realizó con la finalidad de determinar el grado de calidad de la madera aserrada utilizada para la construcción de madera laminada encolada y que también sirvió para calcular los esfuerzos admisibles en el diseño de madera laminada.

Para clasificar la madera se procede de acuerdo a la Norma Chilena NCh 2150 of 89.

Para este ensayo se trabajó con la madera aserrada luego de haber sido secada.

- **Clasificación visual de madera aserrada usada en la fabricación de vigas rectas**

Se escogieron aleatoriamente 8 láminas de madera aserrada seca usadas para la elaboración de vigas rectas. Con estas láminas se midieron los nudos y se clasificó visualmente la madera. (Anexo 32)

- **Clasificación visual de madera aserrada usada en la fabricación de vigas en arco**

Se escogieron aleatoriamente 8 láminas de madera aserrada seca usadas para la elaboración de vigas en arco. Con estas láminas se midieron los nudos y se clasificó visualmente la madera. (Anexo 33)

3.10.3.3 DISEÑO DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS.

Este estudio se realizó con la finalidad de diseñar las vigas laminadas encoladas, para lograr tal fin es necesario en primer lugar determinar los esfuerzos admisibles y en base a ellos los esfuerzos de diseño.

Para determinar los esfuerzos admisibles se procedió de acuerdo a la Norma Chilena NCh 2165 of 91. Y para determinar los esfuerzos de diseño y el diseño como tal se procedió de acuerdo a la Norma Chilena NCh 1198 of 2006.

Para este estudio se trabajó con resultados obtenidos de ensayos físicos, mecánicos realizados a la madera, en base a estos resultados se obtuvieron los esfuerzos admisibles que al mismo tiempo sirvieron para calcular los esfuerzos de diseño con los cuales se diseñaron las vigas de madera laminada.

También es preciso mencionar que, para realizar el diseño de las vigas, se tuvo en cuenta algunas limitaciones como:

- Luz libre está limitada a la distancia entre apoyos del pórtico de ensayo.
- La flecha de la viga en arco está limitada a la altura entre los apoyos y el pistón.
- La sección transversal de las vigas será igual para los dos tipos de viga.
- Las láminas usadas serán del mismo espesor para ambas vigas.

Diseño de vigas laminadas encoladas rectas (Anexo 34) y diseño de vigas laminadas encoladas en arco. (Anexo 35)

3.10.3.4 FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS

Este ensayo se realizó con la finalidad de calcular los esfuerzos y el módulo de elasticidad promedio de las vigas de madera laminada encolada.

Para calcular la flexión estática en las vigas de madera laminada encolada se procede de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 251.017

El ensayo se realizó con dos tipos de vigas: vigas rectas de madera laminada encolada y vigas en arco de madera laminada encolada.

- **Flexión estática en vigas laminadas encoladas rectas**

Se construyeron 05 vigas laminadas encoladas rectas que fueron ensayadas a flexión y se calculó el esfuerzo a flexión promedio. (Anexo 40-44)

- **Flexión estática en vigas laminadas encoladas en arco**

Se construyeron 05 vigas laminadas encoladas en arco que fueron ensayadas a flexión y se calculó el esfuerzo a flexión promedio. (Anexo 45-49)

3.11 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS

Para la fabricación de vigas laminadas encoladas se ordenó el proceso en base en dos etapas: Etapa de elaboración de plan de trabajo y etapa de construcción.

3.11.1 ETAPA DE ELABORACIÓN DE PLAN DE TRABAJO

Esta etapa se desarrolló en gabinete, inicialmente, con el diseño y luego con la elaboración de planos. (Anexo 52 y 53)

3.11.2 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Esta etapa se desarrolló desde el secado de la madera hasta la terminación final de las vigas. La construcción de las vigas estuvo basado en un plan de trabajo. Asimismo, en esta etapa se tuvo en cuenta las recomendaciones de la Norma Chilena para elaboración de madera laminada encolada. (Anexo 54)

El proceso de construcción se describe en los siguientes puntos:

- **Aserrado de madera**

Con la sierra vertical, se cortaron las lonjas según las medidas de las láminas a obtener, es importante decir que se cortaron con medidas adicionales de tal manera que en los procesos posteriores como el secado y el cepillado se obtengan las medidas finales.

- 60 láminas para vigas laminadas encoladas rectas de: $\frac{3}{4}$ " x 5" x 11pies
- 60 láminas para vigas laminadas encoladas en arco de: $\frac{3}{4}$ " x 5" x 13pies

- **Secado de madera**

Luego de aserrar la madera, se verifico que el contenido de humedad se encontraba fuera de los límites establecidos por norma, por lo que se procedió a secar en horno a una temperatura promedio de 60 °C, hasta obtener un contenido de humedad aceptable.

- **Clasificación visual**

Se escogieron 16 láminas de madera aserrada para determinar mediante el método de clasificación visual el grado de la madera. Se colocaron las láminas sobre dos caballetes y se la dividió en tramos de 30 cm. Con un marcador se resaltaron y midieron los nudos.

- **Preparación para la construcción de vigas**

Se elaboraron moldes y prensas para el mejor desarrollo del trabajo.

- **Moldes y prensas para vigas rectas.** Para la adecuada construcción de estas vigas se tuvo que colocar una superficie plana para que la viga no sufra deflexiones por propio peso. Para ello se utilizó una base recta de madera tornillo de: 3''x 5''x12 pies, así mismo se construyeron 12 prensas tipo abrazaderas que ayudaron con el prensado uniforme a lo largo de la viga.
- **Moldes y prensas para vigas en arco.** Para la construcción de vigas en arco se hizo un molde con tablas y bloques de madera aseguradas con tornillos, pernos y pegamento; con ellas se dio la forma de la viga curva. Para asegurar una buena construcción se utilizaron 6 prensas de carpintero y 12 prensas tipo abrazaderas; las primeras ayudaron a asegurar el dobléz de las láminas y las segundas uniformizar el prensado a lo largo de las vigas.

- **Cepillado de madera**

Este proceso se realizó para uniformizar el espesor de las láminas. Se tuvo en cuenta el tiempo de cepillado y encolado que no fuera mayor a 24 horas.

- 60 láminas para vigas laminadas encoladas rectas de: 15mm x 10.5cm x 3.20m.
- 60 láminas para vigas laminadas encoladas en arco de: 15mm x 10.5cm x 3.80m.

- **Ensamble en seco**

El ensamble en seco se realizó para ubicar las láminas tal y como quedarían en las vigas.

- **Encolado de láminas**

En primer lugar, se realizó la preparación del adhesivo y luego con brocha se esparce a lo largo de las caras de cada lámina para finalmente unir las.

- **Prensado de vigas**

El prensado se realizó luego del encolado y la unión de las láminas, para realizar este proceso se procedió de diferente manera para cada tipo de viga.

- **Prensado en vigas rectas.** Una vez encoladas todas las láminas se colocaron una sobre otra encima de la base de madera, con las prensas tipo abrazaderas se ajustaron los pernos hasta lograr la presión adecuada que adhiera las láminas.
- **Prensado en vigas en arco.** Las láminas se colocaron una a una en el molde, para sujetarlas dobladas se usaron las prensas de carpintero. Este proceso se repitió hasta la última lámina y una vez ensambladas, se colocaron todas las prensas tipo abrazadera y se ajustaron los pernos con llave pico de pato.

- **Habilitación final de vigas**

Luego del fraguado del adhesivo y el despresado de las vigas, se cortaron los extremos y cepillaron las caras de las vigas hasta que se obtuvo las dimensiones finales.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

4.1.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)

Tabla 10. Cuadro de análisis de resultados en el estudio del contenido de humedad.

ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL ESTUDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
ENSAYO	CÓDIGO	CH (%)	DISCUSIÓN
CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SECAR EN HORNO	CHa-prom	23.157	<p>La Norma Chilena NCh2148 of 89, establece que el CH para elaboración de madera laminada encolada debe variar entre 8% y 15%.</p> <p>En el cuadro y gráfico adjuntos se observa que el contenido de humedad de la madera obtenida del aserradero es de CHa=23.16%, valor que se encuentra fuera de los límites establecidos en norma. Para controlar este valor se procedió a secar la madera en horno y se obtuvo un CHd=10.7%, valor que es adecuado para la elaboración de madera laminada encolada. Finalmente, se determinó el contenido de humedad de las vigas laminadas encoladas ensayadas, obteniéndose CHvr-prom=13.13% y CHvc-prom=12.71%, valores donde se observa un ligero aumento de humedad pero que no esta fuera de los límites establecidos por norma. Este aumento de humedad es debido a la exposicion a la intemperie desde que se seca hasta que se construyeron y ensayaron las vigas laminadas encoladas.</p>
CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SECAR EN HORNO	CHd-prom	10.704	
CONTENIDO DE HUMEDAD EN VIGAS LAMINADAS RECTAS	CHvr-prom	13.130	
CONTENIDO DE HUMEDAD EN VIGAS LAMINADAS EN ARCO	CHvc-prom	12.712	

GRÁFICO DE CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO

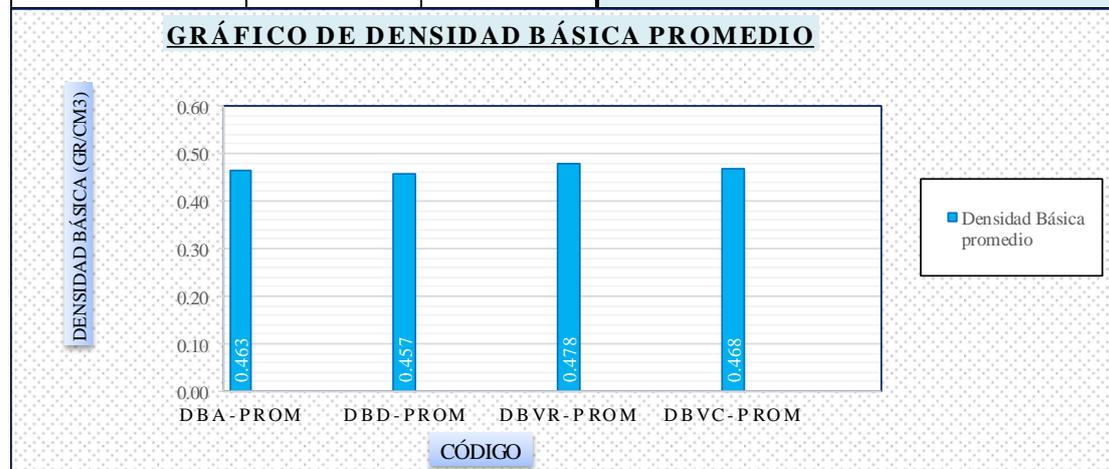
Código	Contenido de Humedad Promedio (%)
CHA-PROM	23.157
CHD-PROM	10.704
CHVR-PROM	13.130
CHVC-PROM	12.712

4.1.2 RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA (DB)

Tabla 11. Cuadro de análisis de resultados en el estudio de densidad básica.

ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL ESTUDIO DE LA DENSIDAD BÁSICA.			
ENSAYO	CÓDIGO	DB (gr/cm ³)	DISCUSIÓN
DENSIDAD BÁSICA ANTES DE SECAR EN HORNO	DBa-prom	0.463	<p>El RNE indica que el pino es una madera liviana que pertenece al grupo de clasificación de madera del grupo andino C con densidad entre 0.40 – 0.55 gr/cm³</p> <p>En el cuadro y gráfico adjuntos, se observa que la densidad de la madera obtenida del aserradero, es de DBa-prom=0.463gr/cm³, valor que se encuentra dentro de los límites establecidos RNE. También se verifica la densidad para la madera seca en horno, donde obtenemos DBd-prom=0.457gr/cm³, valor que es muy similar al anterior y se encuentra dentro de los límites establecidos por RNE. Finalmente se midió la densidad de las vigas laminadas cuando fueron ensayadas, obteniéndose DBvr-prom=0.478gr/cm³ y DBvc-prom=0.468gr/cm³, valores donde se puede apreciar un pequeño aumento de densidad pero que no están fuera de los límites establecidos por RNE. Este aumento se debe posiblemente a que las probetas de madera laminada, ya no sólo lo componen madera sino también el pegamento que une la madera, así mismo se podría decir que el prensado de la madera laminada aumenta la densidad.</p>
DENSIDAD BÁSICA DESPUES DE SECAR EN HORNO	DBd-prom	0.457	
DENSIDAD BÁSICA EN VIGAS LAMINADAS RECTAS	DBvr-prom	0.478	
DENSIDAD BÁSICA EN VIGAS LAMINADAS EN ARCO	DBvc-prom	0.468	

GRÁFICO DE DENSIDAD BÁSICA PROMEDIO



4.2 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

4.2.1 RESULTADOS DEL ENSAYO FLEXIÓN ESTÁTICA

Tabla 12. Cuadro de análisis de resultados del ensayo de flexión estática.

ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL ESTUDIO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA			
PROPIEDADES MECÁNICAS			
Carga en LPE (P_{lp})	267.000 Kg	Carga máxima (P_r)	436.250 Kg
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)	226.093 Kg/cm ²	Esfuerzo máximo (f_r)	369.222 Kg/cm ²
Deformación en LPE (δ_{LPE})	0.8800 cm	Deformación en LR (δ_{LR})	1.9325 cm
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.005450	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.011829
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	43169.915 Kg/cm ²	PROPIEDADES FÍSICAS	
		CH% despues de secar 10.70 %	Densidad básica 0.457 gr/cm ³
DISCUSIÓN DE RESULTADOS			
<p>Norma Chilena NCh 2165 of 91 indica que los esfuerzos básicos de ensayo a flexión es de 193.746 kg/cm².</p> <p>Éste cuadro presenta el promedio de los resultados obtenidos del ensayo a flexión estática de probetas estandar realizado en laboratorio. Los resultados obtenidos son: esfuerzo LPE promedio = 226.093 Kg/cm², éste valor indica que la madera usada en el estudio tiene mejor comportamiento a flexión que el especificado por la norma y que a su vez será el utilizado para hacer el diseño de vigas. El buen comportamiento a flexión se debe también a que las probetas ensayadas estuvieron en estado seco con un contenido de humedad promedio = 10.70% y una densidad básica promedio = 0.457 gr/cm³</p>			

4.2.2 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA

Tabla 13. Cuadro de análisis de resultados en el estudio del ensayo del esfuerzo de corte paralelo a la fibra.

ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL ESTUDIO DEL ENSAYO DE ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA												
ENSAYO	CÓDIGO	$F_{b,cz,d}$ (kg/cm ²)	$F_{b,cz}$ (kg/cm ²)	DISCUSIÓN								
ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA EN PROBETAS DE MADERA MACIZA	CMM-prom	85.32	42.66	<p>En el cuadro y gráfico adjuntos se observa que en las probetas macizas al ensayarlas al esfuerzo de corte se obtuvo un valor de CMM-prom = 42.66kg/cm², observándose que la madera falla en el área de corte, aunque también se observan pequeñas fallas en la base de la probeta. Al mismo tiempo con elementos rectangulares extraídos de las piezas de madera seca se elaboraron 10 probetas de madera encolada en tres elementos y al someterlo al ensayo se verificó que esta vez la que falla es en la línea de cola y se obtuvo un valor de esfuerzo de corte CME-prom = 35.49 kg/cm² valor que es menor al ensayo con madera maciza y de donde podemos decir que el pegamento tiene menor resistencia al corte. Finalmente se elaboraron probetas encoladas con seis elementos que fueron extraídas de las vigas laminadas ensayadas y al someterlas al ensayo de corte se verificó que al igual que las probetas anteriores también falla en la línea de cola (área de corte) y también presenta múltiples fallas en la uniones encoladas adyacentes; con un valor de CVL-prom = 34.57 kg/cm² valor semejante al ensayo anterior y de igual forma nos indica que el pegamento tiene menor resistencia al corte.</p>								
ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA - PROBETAS DE MADERA ENCOLADA EN TRES ELEMENTOS	CME-prom	70.98	35.49									
ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA - PROBETAS DE MADERA ENCOLADA EN SEIS ELEMENTOS	CVL-prom	69.14	34.57									
<p align="center">GRÁFICO DE ESFUERZO DE CORTE PROMEDIO</p> <table border="1"> <caption>Data for Gráfico de Esfuerzo de Corte Promedio</caption> <thead> <tr> <th>Código</th> <th>Esfuerzo de corte promedio (kg/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CMM-PROM</td> <td>42.66</td> </tr> <tr> <td>CME-PROM</td> <td>35.49</td> </tr> <tr> <td>CVL-PROM</td> <td>34.57</td> </tr> </tbody> </table>					Código	Esfuerzo de corte promedio (kg/cm ²)	CMM-PROM	42.66	CME-PROM	35.49	CVL-PROM	34.57
Código	Esfuerzo de corte promedio (kg/cm ²)											
CMM-PROM	42.66											
CME-PROM	35.49											
CVL-PROM	34.57											

4.3 RESULTADOS OBTENIDOS DE PROPIEDADES PARA LA ELABORACIÓN Y ESTUDIO DE MADERA LAMINADA ENCOLADA.

4.3.1 REQUISITOS E INSPECCIÓN

- **Contenido de humedad. La Norma Chilena establece que el contenido de humedad para ensamblar láminas de madera varía en: 8% – 15%**

DISCUSIÓN

El contenido de humedad de la madera con la que se elaboraron las vigas de madera laminada encolada es de $CH\% = 10.70\%$, el cual es un valor de humedad adecuado para elaborar madera laminada y está dentro de los límites establecidos por la norma.

- **Resistencia de la línea de cola al esfuerzo de corte. La Norma Chilena establece dos recomendaciones:**

Primera recomendación de la norma: El valor promedio de resistencia al corte sobre la línea de encolado debe ser mayor o igual al 90% del valor de resistencia al corte de un elemento de madera no laminada (maciza)

$$0.9 \times \tau_{CMM} \leq \tau_{CME} \quad ; \quad 38.39 \leq 35.49 \quad ; \quad \text{NO CUMPLE.}$$

$$0.9 \times \tau_{CMM} \leq \tau_{CVL} \quad ; \quad 38.39 \leq 34.57 \quad ; \quad \text{NO CUMPLE.}$$

Segunda recomendación de la norma: para elementos estructurales de madera laminada encolada de pino o de otras maderas con densidad menor a 0.5 gr/cm^3 se acepta un valor de resistencia al corte de 4 MPa (40.7886 Kg/cm^2)

$$\tau_{CME} = 40.7886 \text{ Kg/cm}^2 \quad ; \quad 35.49 \leq 40.7886 \text{ Kg/cm}^2 \quad ; \quad \text{NO CUMPLE.}$$

$$\tau_{CVL} = 40.7886 \text{ Kg/cm}^2 \quad ; \quad 34.57 \leq 40.7886 \text{ Kg/cm}^2 \quad ; \quad \text{NO CUMPLE.}$$

DISCUSIÓN

Este punto no cumple con lo recomendado por la norma, para lo cual se dice que: el pegamento utilizado no está dentro de la clasificación establecida por la Norma Chilena en cuanto a adhesivos, pues el pegamento usado es un polivinil acetato en emulsión acuosa (Tekno cola ultra) y el que exige la norma está dentro de los fenólicos y aminoplasticos como la urea-melamina.

4.3.2 CLASIFICACIÓN VISUAL DE MADERA ASERRADA

La Norma Chilena establece que la madera aserrada debe ser clasificada, y se determina que la madera puede pertenecer al grado A o al grado B, destacándose que la madera de mejor calidad pertenece al grado A.

DISCUSIÓN

De los estudios de clasificación visual realizados, Se determinó que la madera utilizada para la elaboración de vigas rectas y vigas en arco de madera laminada encolada pertenece al grado B, resultado que indica que la madera usada es de un orden de calidad medio y que si es adecuado para usar en madera laminada encolada.

4.3.3 DISEÑO DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS

Las normas chilenas establecen los criterios para calcular los esfuerzos admisibles, esfuerzos de diseño y el procedimiento para diseñar elementos estructurales.

DISCUSIÓN

En base a los resultados de ensayos realizados a la madera; verificando los requisitos para elaboración de madera laminada y siguiendo lo establecido por las normas. Se logró realizar el diseño de las vigas laminadas encoladas rectas y en arco, donde se pudo comprobar las dimensiones propuestas inicialmente.

4.3.4 RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA EN VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS

Tabla 14. Cuadro de análisis de resultados del ensayo de flexión estática de vigas laminadas encoladas rectas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL ESTUDIO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS RECTAS			
PROPIEDADES MECÁNICAS			
Carga en LPE (P_{lp})	2100.000 Kg	Carga máxima (P_r)	3158.000 Kg
Esfuerzo en LPE (f_{lp})	311.966 Kg/cm ²	Esfuerzo máximo (f_r)	468.815 Kg/cm ²
Deformación en LPE (δ_{LPE})	2.874 cm	Deformación en LR (δ_{LR})	5.490 cm
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.003695	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.007061
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3\delta_{lp}}$	85003.515 Kg/cm ²	PROPIEDADES FÍSICAS	
		CH%	Densidad Básica
		13.13 %	0.478 gr/cm ³
TIPO DE FALLA			
<p>FRÁGIL: La falla frágil se produce a lo largo de planos cristalográficos llamados planos de fractura. Tiene una rápida propagación de la grieta. La fractura tiene lugar sin una apreciable deformación y debido a una rápida propagación de una grieta: Ocurre a lo largo de los planos de fractura que son perpendiculares a la tensión aplicada.</p>			
DISCUSIÓN			
<p>Éste cuadro presenta el promedio de los resultados obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de las vigas laminadas rectas. Los resultados promedio obtenidos son: deformación en LPE = 2.874cm, esfuerzo LPE = 311.966 kg/cm², deformación unitaria máxima de rotura = 5.49cm y esfuerzo máximo de rotura = 468.815 kg/cm². Así mismo se determinó el tipo de falla generada por los ensayos, resultando que tiene un tipo de falla FRÁGIL, tal como se evidencia en la gran notoriedad de las fallas en las vigas ensayadas.</p>			

Tabla 15. Cuadro de análisis de resultados del ensayo de flexión estática de vigas laminadas encoladas en arco.

ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL ESTUDIO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS EN ARCO			
PROPIEDADES MECÁNICAS			
Carga en LPE (P_{lp})	3100.000 Kg	Carga máxima (P_r)	4950.000 Kg
Esfuerzo en LPE (f_{lp})	462.421 Kg/cm ²	Esfuerzo máximo (f_r)	738.858 Kg/cm ²
Deformación en LPE (δ_{LPE})	3.790 cm	Deformación en LR (δ_{LR})	7.190 cm
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.004898	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.009288
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	93430.903 Kg/cm ²	PROPIEDADES FÍSICAS	
		CH%	Densidad básica
		12.71 %	0.468 gr/cm ³
TIPO DE FALLA			
DÚCTIL: La falla dúctil ocurre después de una intensa deformación plástica y se caracteriza por una lenta propagación de la grieta. Esta fractura ocurre bajo una intensa deformación plástica.			
DISCUSIÓN			
<p>Éste cuadro presenta el promedio de los resultados obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de las vigas laminadas en arco. Los resultados promedio obtenidos son: deformación en LPE = 3.79 cm, esfuerzo LPE = 462.421 Kg/cm², deformación máxima de rotura = 7.19cm y esfuerzo máximo de rotura = 738.858 kg/cm². Así mismo se determinó el tipo de falla generada por los ensayos, resultando que tiene un tipo de falla DÚCTIL, lo cual se evidencia en la leve notoriedad en las vigas ensayadas.</p>			

Tabla 16. Cuadro de análisis de resultados del ensayo de flexión estática en vigas laminadas encoladas rectas y vigas laminadas encoladas en arco.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ESFUERZO EN LÍMITE DE ROTURA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS RECTAS Y VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS EN ARCO							
VIGAS LAMINADAS RECTAS				VIGAS LAMINADAS EN ARCO			
VIGA	Módulo de Elásticidad (MOE) (Kg/cm ²)	Carga máxima (P _r) (Kg/cm ²)	Esfuerzo máximo (f _r) (Kg/cm ²)	VIGA	Módulo de Elásticidad (MOE) (Kg/cm ²)	Carga máxima (P _r) (Kg/cm ²)	Esfuerzo máximo (f _r) (Kg/cm ²)
VLR-1	91708.932	2480.000	369.959	VLC-1	90626.828	4320.000	627.595
VLR-2	93080.647	3680.000	548.971	VLC-2	76060.186	4710.000	714.735
VLR-3	85695.232	2850.000	425.154	VLC-3	124863.303	5620.000	834.342
VLR-4	79203.169	3280.000	489.300	VLC-4	87435.756	5540.000	840.687
VLR-5	75329.594	3500.000	510.692	VLC-5	88168.445	4560.000	676.930
PROM	85003.515	3158.000	468.815	PROM	93430.9034	4950.000	738.858

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA VIGAS LAMINADAS RECTAS Y EN ARCO

DISCUSIÓN	
<p>En el cuadro y gráfico adjuntos se observa que: las curvas con línea continua representa al diagrama de esfuerzo vs deformación unitaria de las vigas laminadas en arco, y las curvas con línea discontinua representan al diagrama de esfuerzo vs deformación unitaria de las vigas laminadas rectas. Se concluye que el esfuerzo máximo a flexión de las vigas laminadas en arco es mayor al esfuerzo máximo a flexión de las vigas laminadas rectas.</p>	

Tabla 17. Cuadro de análisis de resultados de la deformación en límite de rotura en el ensayo de flexión estática en vigas laminadas encoladas rectas y vigas laminadas encoladas en arco.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA DEFORMACIÓN EN LÍMITE DE ROTURA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS RECTAS Y VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS EN ARCO							
VIGAS LAMINADAS RECTAS				VIGAS LAMINADAS EN ARCO			
VIGA	Esfuerzo máximo (f_r) (Kg/cm ²)	Deformación en LR (δLR) (cm)	Deformación unitaria en LR ($DuLR$)	VIGA	Esfuerzo máximo (f_r) (Kg/cm ²)	Deformación en LR (δLR) (cm)	Deformación unitaria en LR ($DuLR$)
VLR-1	369.959	4.150	0.00533	VLC-1	627.595	5.850	0.00768
VLR-2	548.971	5.800	0.00745	VLC-2	714.735	7.300	0.00937
VLR-3	425.154	4.400	0.00565	VLC-3	834.342	7.500	0.00974
VLR-4	489.300	5.550	0.00713	VLC-4	840.687	8.500	0.01092
VLR-5	510.692	7.550	0.00975	VLC-5	676.930	6.800	0.00873
PROM	468.815	5.490	0.00706	PROM	738.857716	7.190	0.00929

DEFORMACIÓN EN LÍMITE DE ROTURA EN VIGAS LAMINADAS RECTAS Y EN ARCO

VIGA	VIGAS RECTAS (cm)	VIGAS EN ARCO (cm)
1	4.150	5.850
2	5.800	7.300
3	4.400	7.500
4	5.550	8.500
5	7.550	6.800

DISCUSIÓN

En el cuadro y gráfico adjuntos se observa que: Las barras rojas representan a la deformación en límite de rotura de las vigas laminas rectas y las barras azules representan a la deformación en límite de rotura de las vigas laminas en arco, A su vez las líneas rectas representan la deformación en límite de rotura promedio de cada tipo de viga.

Entonces del diagrama se concluye que la deformación en el límite de rotura de las vigas laminadas en arco es mayor a la deformación en el límite de rotura de las vigas laminadas rectas.

Tabla 18. Cuadro de análisis de resultados de tipo de falla en el límite de rotura en el ensayo de flexión estática en vigas laminadas encoladas rectas y vigas laminadas encoladas en arco.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TIPO DE FALLA EN LÍMITE DE ROTURA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS RECTAS Y VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS EN ARCO					
VIGAS LAMINADAS RECTAS			VIGAS LAMINADAS EN ARCO		
VIGA	Deformación en LR (δLR) (cm)	TIPO DE FALLA	VIGA	Deformación en LR (δLR) (cm)	TIPO DE FALLA
VLR-1	4.150	FRÁGIL	VLC-1	5.850	DÚCTIL
VLR-2	5.800	FRÁGIL	VLC-2	7.300	DÚCTIL
VLR-3	4.400	FRÁGIL	VLC-3	7.500	DÚCTIL
VLR-4	5.550	FRÁGIL	VLC-4	8.500	DÚCTIL
VLR-5	7.550	FRÁGIL	VLC-5	6.800	DÚCTIL
FALLA	5.490	FRÁGIL	FALLA	7.190	DÚCTIL
DISCUSIÓN					
<p>Como se observa en el cuadro de resultados, El tipo de falla en las vigas laminadas rectas es FRÁGIL, ya que se demostró en el ensayo que no es necesario que la viga presente gran deformación para que la falla empiece a visibilizarse. Así mismo, la falla en las vigas laminadas en arco es DÚCTIL, por que se demuestra en el ensayo que la falla se produce después de una notoria deformación y que la propagación de la grieta es lenta..</p> <p>De los resultados se concluyen que las vigas laminadas encoladas rectas son mas propensas a fallar mientras que las vigas laminadas encoladas en arco tienen un mejor comportamiento, lo que hace que se presente mayor confiabilidad en el uso de éstas vigas</p>					

4.4 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Las vigas en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual tienen un esfuerzo a flexión mayor en un 67.74% que las vigas rectas; La deformación en las vigas en arco es mayor en un 30.97% que las vigas rectas; asimismo, el tipo de falla es dúctil en las vigas en arco mientras que en las vigas rectas presentan tipo de falla frágil.

Todas estas variables estudiadas significan que las vigas en arco de madera laminada encolada tienen mejor comportamiento mecánico a flexión que las vigas rectas de madera laminada encolada.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La madera de pino pátula es apta para elaborar madera laminada encolada debido a que sus propiedades físico-mecánicas cumplen con las recomendaciones dadas por la Norma Chilena NCh 2148 of 2013 de requisitos e inspección.
- Las láminas de madera aserrada de pino pátula pertenecen al grado B, por lo que es de calidad media y se concluye que son aptas para la elaboración de madera laminada encolada ya que cumplen con las recomendaciones de la Norma Chilena NCh 2150 of 1989 de clasificación de madera.
- El esfuerzo a flexión de las vigas en arco de madera laminada encolada es mayor en un 67.74%, que el esfuerzo a flexión de las vigas rectas de madera laminada encolada.
- Las deformaciones promedio en límite de rotura producidas en las vigas en arco de madera laminada encolada, son mayores en un 30.97%, que las deformaciones en las vigas laminadas encoladas rectas.
- El tipo de falla en las vigas en arco de madera laminada fue dúctil, mientras que en las vigas rectas de madera laminada fue de tipo frágil.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones de vigas en arco de madera laminada encolada, con diferentes radios de curvatura, sección, tipo de madera, tipo de adhesivo, etc.
- Realizar estudios de vigas rectas de madera laminada encolada, con diferentes secciones transversales y espesor de lámina.

Realizar futuras investigaciones teniendo como base el presente trabajo, de tal manera pueda ser mejorado en cuanto a muestreo en la obtención de madera.

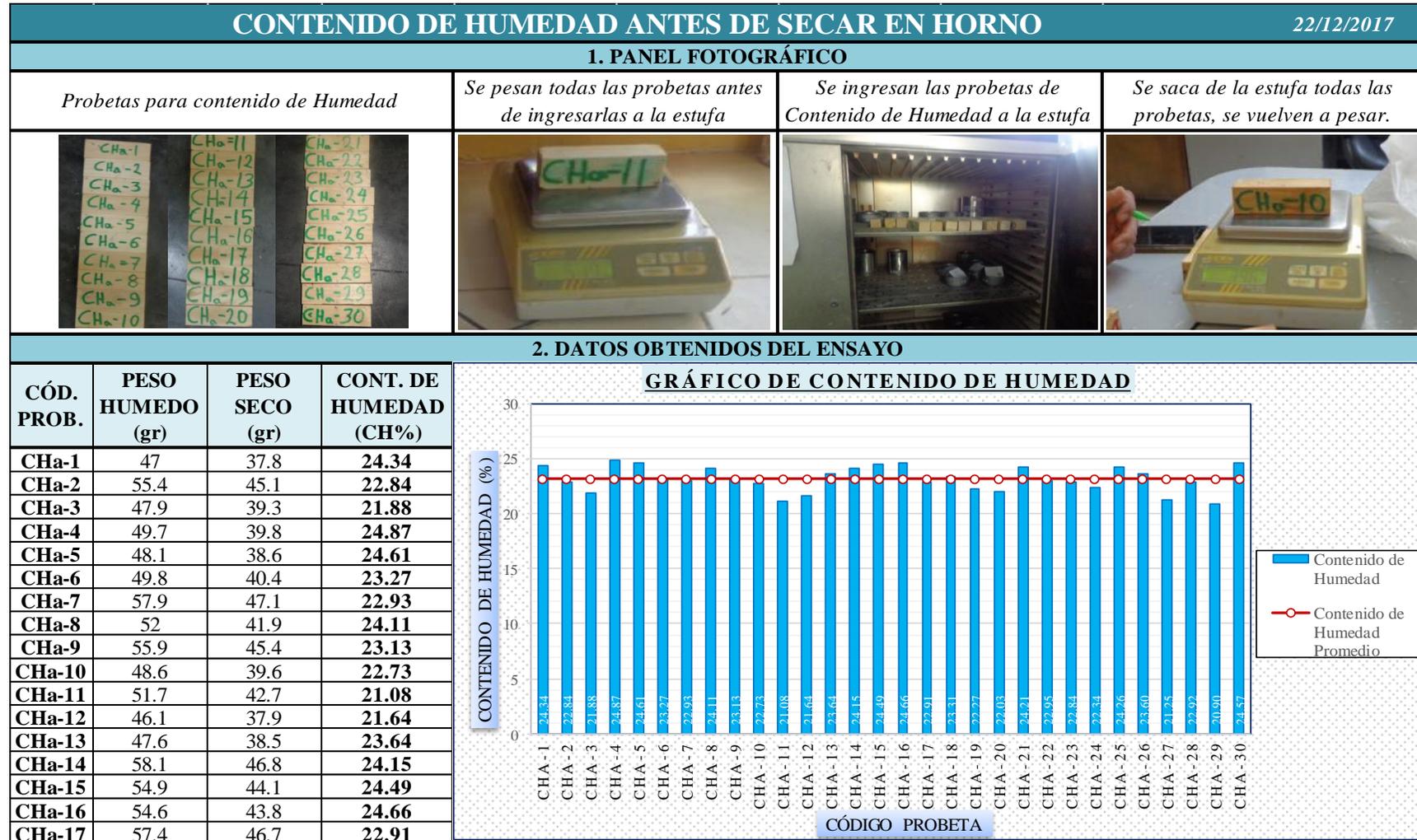
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT. (1984). Manual de diseño para maderas del grupo Andino. (Lima : Junta del Acuerdo de Cartagena, Ed.) (3rd ed.). Lima.
- Barrera, J. A. (2010). La Madera Laminada : Una Alternativa Estructural y Ambiental. Revista M-M. Retrieved from www.revista-mm.com
- Boñon, O. (2016). Estudio del comportamiento de elementos de madera estructural laminada. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Corporación Chilena de la Madera. (2004). Manual: La construcción de viviendas en madera. (Universidad Católica de Chile, Ed.) (2nd ed.). Santiago de Chile.
- Fernández, M. (2015). Determinación de las propiedades físico mecánicas de ramas en verde de haya (*fagus sylvatica* l.) Procedentes del hayedo de Montejo de la sierra de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
- Giménez, A., Moglia, J., Hernández, P., & Gerez, R. (2005). Anatomía de la Madera (2nd ed.). Santiago de Estero.
- Hibbeler, R. C. (2003). Mecánica de Materiales. (Pearson Educación, Ed.) (3rd ed.). México.
- Hibbeler, R. C. (2011). Mecánica de Materiales. (Pearson Educación, Ed.) (8th ed.). México.
- INACAL. Norma técnica peruana - NTP 251.010 (2014). Lima.
- Instituto Nacional de Normalización- INN. NCh 2165 of 1991 - Tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de pino radiata (1991). Santiago de Chile.
- Instituto Nacional de Normalización- INN. NCh 1198 of 2006 - Madera - Construcciones en madera - Cálculo (2006). Santiago de Chile.
- Instituto Nacional de Normalización- INN. NCh 2148 of 2013 - Madera laminada encolada estructural - Requisitos, métodos de muestreo e inspección (2013). Santiago de Chile.
- Messer, O. (2007). "Comportamiento en flexión de vigas laminadas que incorporan pino oregón." Universidad del Bío-Bío.
- Ministerio de Vivienda, & Construcción y Saneamiento. Reglamento nacional de edificaciones Norma E.010 (2014). Lima.

- Ordoñez, P., & Lugo, Y. (2016). Estructuras de madera aplicadas al sector de la construcción en el Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ortega, D. (2014). “Evaluación de la influencia del raleo en el crecimiento de Pinus pátula Schl. Et Cham. aplicando técnicas dendrocronológicas en plantaciones de Cajamarca - Perú.” Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ospina, C., & Hernández, R. (2011). Guías Silviculturales: El Pino pátula. (E. B. S. A. S. Manizales, Ed.) (1st ed.). Colombia.
- Pérez, V. (1992). Manual de Madera Laminada. (INFOR, Ed.) (2nd ed.). Santiago de Chile.
- Quintana, M. (2013). Evaluación del comportamiento mecánico y caracterización de vigas doble t de pino radiata. Universidad del Bío - Bío.
- Santiago, H., Sotelo, D., & Quintana, R. S. (2008). Resistencia mecánica de pequeños arcos de madera laminada. Revista Académica Ingeniería, 11. <https://doi.org/1665-529X>
- Universidad Mayor de San Simón. (2013). Capítulo III - Diseño de Vigas. In Estructuras de Madera (1st ed., pp. 25–62). Cochabamba.
- Venemedia Comunicaciones C.A. (2015). Definición de Comportamiento Mecánico. Retrieved from <https://www.definicion.xyz/2018/04/comportamiento-mecanico.html>
- Vinueza, M. (2010). Ficha Técnica No. 14, Ecuador Forestal. Retrieved from <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-14-pino-pinus-patula/>

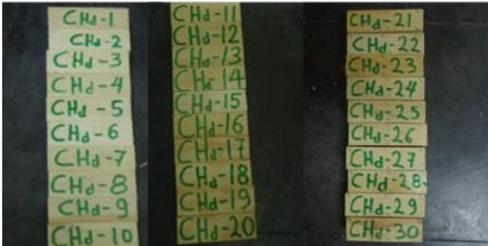
ANEXOS

ANEXO 1. Contenido de humedad de la madera antes de secar en horno



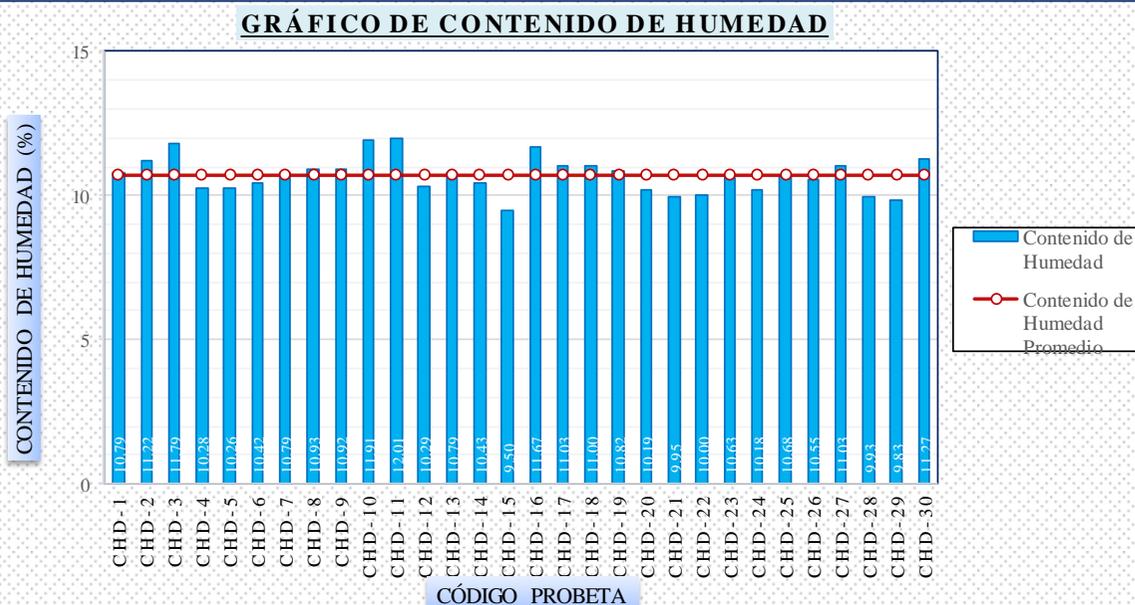
				3. RESULTADOS OBTENIDOS	
CHa-18	52.9	42.9	23.31	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (CH%) = 23.16 % Varianza (s2) = 1.29 Desviacion Estandar (s) = 1.14 Coefficiente de Variacion (CV) = 4.91	
CHa-19	58.2	47.6	22.27		
CHa-20	49.3	40.4	22.03		
CHa-21	59	47.5	24.21		
CHa-22	58.4	47.5	22.95		
				4. INTERPRETACION DE RESULTADOS	
CHa-23	52.7	42.9	22.84	<i>Se observa que el contenido de humedad promedio antes de secar en el horno es de: 23.16%. De éste resultado podemos concluir que nos encontramos fuera de los límites recomendado por la norma NCh 2148.Of89, ya que esta norma recomienda que el contenido de humedad para la elaboración de elementos de madera laminada debe ser menor a 15%.ya que valores mayores podrian afectar la resistencia. Para controlar este parametro se procedio a secar la madera en Horno.</i>	
CHa-24	57.5	47	22.34		
CHa-25	50.2	40.4	24.26		
CHa-26	59.7	48.3	23.60		
CHa-27	52.5	43.3	21.25		
CHa-28	54.7	44.5	22.92		
CHa-29	50.9	42.1	20.90		
CHa-30	50.7	40.7	24.57		

ANEXO 2. Contenido de humedad de la madera después de secar en horno

CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SECAR EN HORNO				30/01/2018
1. PANEL FOTOGRÁFICO				
<i>Probetas para contenido de Humedad</i>	<i>Se pesan todas las probetas antes de ingresarlas a la estufa</i>	<i>Se ingresan las probetas de Contenido de Humedad a la estufa</i>	<i>Se saca de la estufa todas las probetas, se vuelven a pesar.</i>	
				

2. DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO

CÓD. PROB.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	CONT. DE HUMEDAD (CH%)
CHd-1	42.1	38	10.79
CHd-2	45.6	41	11.22
CHd-3	43.6	39	11.79
CHd-4	44	39.9	10.28
CHd-5	41.9	38	10.26
CHd-6	44.5	40.3	10.42
CHd-7	46.2	41.7	10.79
CHd-8	46.7	42.1	10.93
CHd-9	44.7	40.3	10.92
CHd-10	45.1	40.3	11.91
CHd-11	48.5	43.3	12.01
CHd-12	41.8	37.9	10.29
CHd-13	42.1	38	10.79
CHd-14	48.7	44.1	10.43
CHd-15	43.8	40	9.50
CHd-16	46.9	42	11.67
CHd-17	47.3	42.6	11.03
CHd-18	45.4	40.9	11.00
CHd-19	47.1	42.5	10.82
CHd-20	45.4	41.2	10.19
CHd-21	44.2	40.2	9.95
CHd-22	46.2	42	10.00
CHd-23	48.9	44.2	10.63
CHd-24	43.3	39.3	10.18
CHd-25	45.6	41.2	10.68
CHd-26	46.1	41.7	10.55
CHd-27	47.3	42.6	11.03
CHd-28	46.5	42.3	9.93
CHd-29	45.8	41.7	9.83
CHd-30	45.4	40.8	11.27



3. RESULTADOS OBTENIDOS

CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (H%) = 10.70 %
Varianza (s²) = 0.39
Desviacion Estandar (s) = 0.63
Coefficiente de Variacion (CV) = 5.87

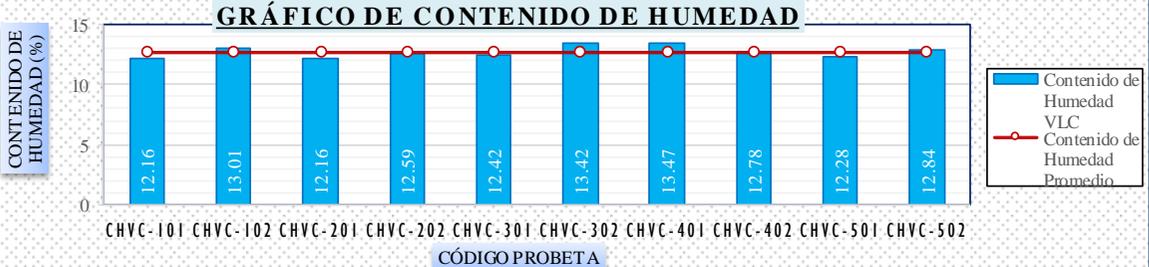
4. INTERPRETACION DE RESULTADOS

Se observa que el contenido de humedad promedio despues de secar en el horno es de: 10.7%. De éste resultado podemos concluir que nos encontramos dentro de los límites recomendado por la norma NCh 2148.Of89, ya que esta norma recomienda que el contenido de humedad para la elaboración de elementos de madera laminada debe ser menor a 15%.ya que valores mayores podrian afectar la resistencia. Por lo que podemos decir que la madera estaba en condiciones adecuadas para ser utilizada en la elaboración de madera laminada

ANEXO 3. Contenido de humedad en vigas de madera laminada encolada rectas

CONTENIDO DE HUMEDAD EN VIGAS LAMINADAS RECTAS				24/04/2018																								
1. PANEL FOTOGRÁFICO																												
<i>Probetas para contenido de Humedad</i>		<i>Se pesan todas las probetas antes de ingresarlas a la estufa</i>	<i>Se ingresan las probetas de Contenido de Humedad a la estufa</i>	<i>Se saca de la estufa todas las probetas, se vuelven a pesar.</i>																								
																												
2. DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO																												
CÓD. PROB.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	CONT. DE HUMEDAD (CH%)	<p>GRÁFICO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</p> <table border="1"> <caption>Data for Moisture Content Graph</caption> <thead> <tr> <th>Código Probeta</th> <th>Contenido de Humedad (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CHVR-101</td><td>12.79</td></tr> <tr><td>CHVR-102</td><td>12.96</td></tr> <tr><td>CHVR-201</td><td>12.50</td></tr> <tr><td>CHVR-202</td><td>12.72</td></tr> <tr><td>CHVR-301</td><td>12.58</td></tr> <tr><td>CHVR-302</td><td>12.87</td></tr> <tr><td>CHVR-401</td><td>13.81</td></tr> <tr><td>CHVR-402</td><td>13.63</td></tr> <tr><td>CHVR-501</td><td>13.85</td></tr> <tr><td>CHVR-502</td><td>13.59</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>13.13</td></tr> </tbody> </table>	Código Probeta	Contenido de Humedad (%)	CHVR-101	12.79	CHVR-102	12.96	CHVR-201	12.50	CHVR-202	12.72	CHVR-301	12.58	CHVR-302	12.87	CHVR-401	13.81	CHVR-402	13.63	CHVR-501	13.85	CHVR-502	13.59	Promedio	13.13
Código Probeta	Contenido de Humedad (%)																											
CHVR-101	12.79																											
CHVR-102	12.96																											
CHVR-201	12.50																											
CHVR-202	12.72																											
CHVR-301	12.58																											
CHVR-302	12.87																											
CHVR-401	13.81																											
CHVR-402	13.63																											
CHVR-501	13.85																											
CHVR-502	13.59																											
Promedio	13.13																											
CHvr-101	49.4	43.8	12.79																									
CHvr-102	48.8	43.2	12.96																									
CHvr-201	54.9	48.8	12.50																									
CHvr-202	56.7	50.3	12.72																									
CHvr-301	50.1	44.5	12.58																									
CHvr-302	50	44.3	12.87																									
CHvr-401	51.1	44.9	13.81																									
CHvr-402	46.7	41.1	13.63																									
CHvr-501	51.8	45.5	13.85																									
CHvr-502	49.3	43.4	13.59																									
3. RESULTADOS OBTENIDOS				<p>CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (CH%) = 13.13 %</p> <p>Varianza (s²) = 0.28</p> <p>Desviacion Estandar (s) = 0.53</p> <p>Coefficiente de Variacion (CV) = 4.02</p>																								
4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS																												
<p><i>Se observa que el contenido de humedad promedio para vigas laminadas rectas es de: 13.13%. De éste resultado podemos concluir que nos encontramos dentro de los límites recomendado por la norma NCh 2148.Of89. Además se observa que el contenido de Humedad es mayor al de la madera maciza, se puede decir que el contenido de humedad aumenta por la exposición que tiene las vigas a la intemperie y el tiempo entre el secado en horno de la madera y la elaboración y ensayo de las vigas.</i></p>																												

ANEXO 4. Contenido de humedad en vigas de madera laminada encolada en arco

CONTENIDO DE HUMEDAD EN VIGAS LAMINADAS EN ARCO				24/04/2018	
1. PANEL FOTOGRÁFICO					
<i>Probetas para contenido de Humedad</i>	<i>Se pesan todas las probetas antes de ingresarlas a la estufa</i>	<i>Se ingresan las probetas de Contenido de Humedad a la estufa</i>	<i>Se saca de la estufa todas las probetas, se vuelven a pesar.</i>		
					
2. DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
CÓD. PROB.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	CONT. DE HUMEDAD (CH%)	<div style="text-align: center;"> GRÁFICO DE CONTENIDO DE HUMEDAD  </div>	
CHvc-101	48.9	43.6	12.16		
CHvc-102	49.5	43.8	13.01		
CHvc-201	45.2	40.3	12.16		
CHvc-202	47.4	42.1	12.59		
CHvc-301	53.4	47.5	12.42		
CHvc-302	54.1	47.7	13.42		
CHvc-401	51.4	45.3	13.47		
CHvc-402	50.3	44.6	12.78		
CHvc-501	50.3	44.8	12.28		
CHvc-502	49.2	43.6	12.84		
3. RESULTADOS OBTENIDOS				CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (CH%) = 12.71 % Varianza (s2) = 0.23 Desviacion Estandar (s) = 0.48 Coefficiente de Variacion (CV) = 3.78	
4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
<p><i>Se observa que el contenido de humedad promedio para vigas laminadas en arco es de: 12.71%. De éste resultado podemos concluir que nos encontramos dentro de los límites recomendado por la norma NCh 2148.Of89. Además se observa que el contenido de Humedad es mayor al de la madera maciza, se puede decir que el contenido de humedad aumenta por la exposición que tiene las vigas a la intemperie y el tiempo entre el secado en horno de la madera y la elaboración y ensayo de las vigas.</i></p>					

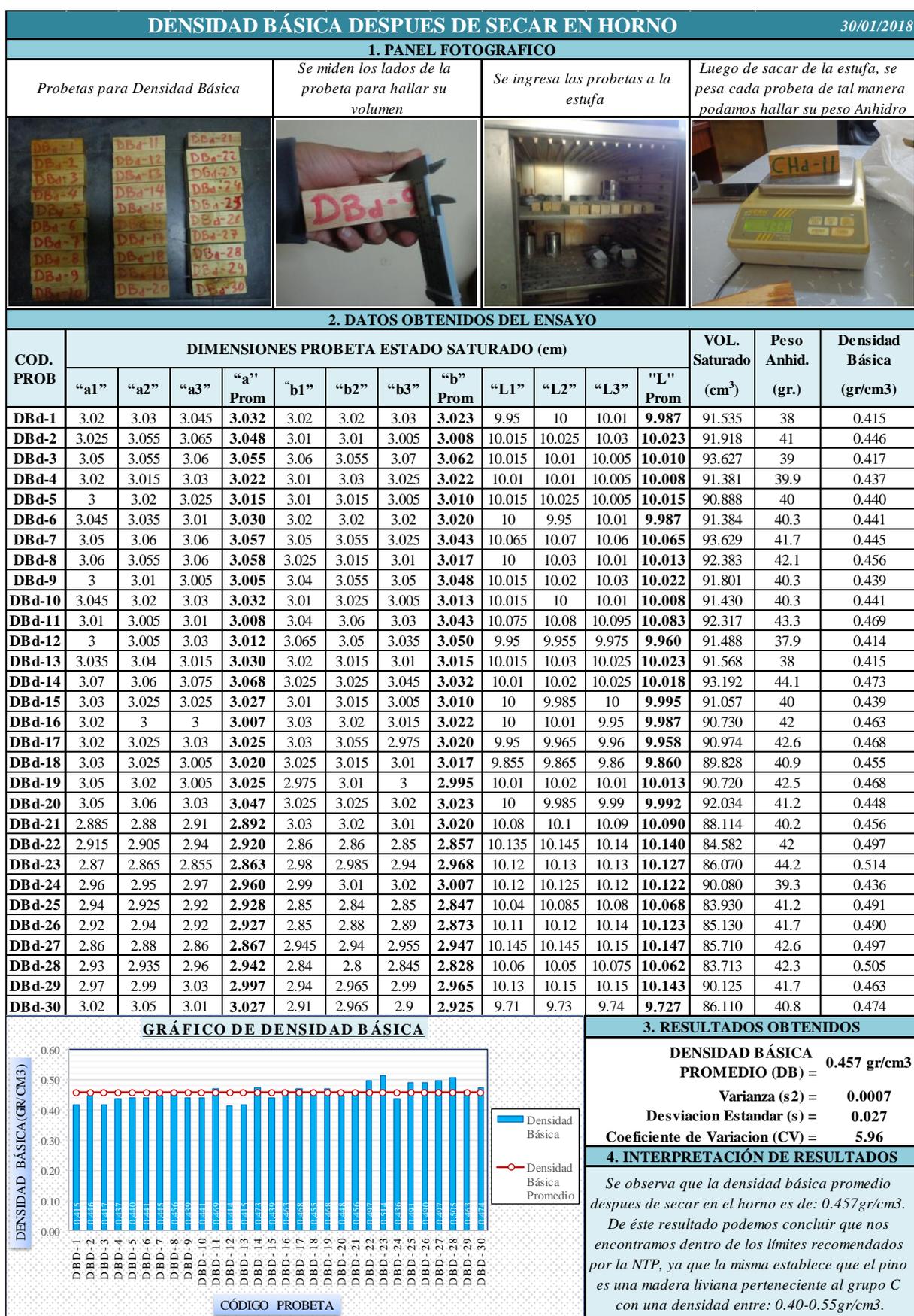
ANEXO 5. Densidad básica de madera antes de secar en horno

DENSIDAD BÁSICA ANTES DE SECAR EN HORNO													22/12/2017		
1. PANEL FOTOGRAFICO															
Probetas para Densidad Básica				Se miden los lados de la probeta para hallar su volumen				Se ingresa las probetas a la estufa				Luego de sacar de la estufa, se pesa cada probeta de tal manera podamos hallar su peso Anhidro			
2. DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO															
COD. PROB	DIMENSIONES PROBETA ESTADO SATURADO (cm)												VOL. Saturado (cm ³)	Peso Anhid. (gr.)	Densidad Básica (gr/cm ³)
	"a1"	"a2"	"a3"	"a" Prom	"b1"	"b2"	"b3"	"b" Prom	"L1"	"L2"	"L3"	"L" Prom			
DBa-1	3.06	3.06	3.09	3.070	3.07	3.05	3.01	3.043	9.95	10.015	10.015	9.993	93.368	37.8	0.405
DBa-2	3.065	3.07	3.04	3.058	3.08	3.11	3.075	3.088	10.02	10.005	10.02	10.015	94.593	45.1	0.477
DBa-3	3.115	3.135	3.17	3.140	3.15	3.11	3.11	3.123	10.03	10.04	10.03	10.033	98.400	39.3	0.399
DBa-4	3.05	3.07	3.06	3.060	3.05	3.06	3.05	3.053	10.03	10.05	10.05	10.043	93.837	39.8	0.424
DBa-5	3.05	3.06	3.06	3.057	3.05	3.06	3.055	3.055	10.04	10.035	10.03	10.035	93.708	38.6	0.412
DBa-6	3.06	3.06	3.05	3.057	3.08	3.14	3.1	3.107	10	9.98	10	9.993	94.897	40.4	0.426
DBa-7	3.06	3.08	3.04	3.060	3.08	3.095	3.09	3.088	10.01	10.005	10.025	10.013	94.629	47.1	0.498
DBa-8	3.12	3.09	3.07	3.093	3.09	3.1	3.05	3.080	9.985	9.85	9.965	9.933	94.640	41.9	0.443
DBa-9	3.07	3.06	3.05	3.060	2.985	3.005	3.005	2.998	10.01	10.015	10.01	10.012	91.856	45.4	0.494
DBa-10	3.06	3.055	3.03	3.048	3.04	3.07	3.09	3.067	9.99	9.995	9.995	9.993	93.420	39.6	0.424
DBa-11	3.07	3.08	3.06	3.070	3.06	3.06	3.07	3.063	10.095	10.12	10.1	10.105	95.032	42.7	0.449
DBa-12	3.065	3.055	3.05	3.057	3.055	3.06	3.065	3.060	10.02	10.02	10.015	10.018	93.705	37.9	0.404
DBa-13	3.04	3.045	3.05	3.045	3.06	3.06	3.04	3.053	9.995	10.05	10.02	10.022	93.175	38.5	0.413
DBa-14	3.055	3.06	3.03	3.048	3.05	3.065	3.08	3.065	9.995	9.99	10	9.995	93.385	46.8	0.501
DBa-15	3.04	3.05	3.045	3.045	3.05	3.06	3.06	3.057	10.11	10.105	10.13	10.115	94.146	44.1	0.468
DBa-16	3.055	3.04	3.045	3.047	3.055	3.09	3.06	3.068	10.02	10.025	10.01	10.018	93.653	43.8	0.468
DBa-17	3.055	3.07	3.06	3.062	3.05	3.03	3.03	3.037	10.01	10	9.995	10.002	92.988	46.7	0.502
DBa-18	3.07	3.08	3.055	3.068	3.03	3.02	3.05	3.033	10.02	10.01	10.02	10.017	93.228	42.9	0.460
DBa-19	3.055	3.06	3.05	3.055	3.04	3.045	3.08	3.055	10.07	10.08	10.05	10.067	93.952	47.6	0.507
DBa-20	3.08	3.095	3.07	3.082	3.06	3.055	3.015	3.043	10.015	10.005	10	10.007	93.848	40.4	0.430
DBa-21	3.05	3.08	3.06	3.063	3.03	3.05	3.04	3.040	10.15	10.15	10.15	10.150	94.522	47.5	0.503
DBa-22	3.02	3.06	3.01	3.030	2.96	3.025	3.005	2.997	10.12	10.125	10.11	10.118	91.873	47.5	0.517
DBa-23	2.985	2.995	2.97	2.983	3.01	3.01	2.95	2.990	10.11	10.11	10.105	10.108	90.168	42.9	0.476
DBa-24	2.975	3.01	2.995	2.993	3.025	3.055	3.04	3.040	10.115	10.12	10.125	10.120	92.089	47	0.510
DBa-25	3	3.005	2.97	2.992	2.95	2.97	2.965	2.962	10.13	10.1	10.115	10.115	89.622	40.4	0.451
DBa-26	3.07	3.08	3.07	3.073	2.995	3.025	3.015	3.012	10.15	10.15	10.155	10.152	93.962	48.3	0.514
DBa-27	2.965	2.985	2.985	2.978	2.96	2.985	2.935	2.960	10.1	10.1	10.11	10.103	89.070	43.3	0.486
DBa-28	3.015	3.02	2.965	3.000	2.965	2.965	2.935	2.955	10.125	10.125	10.125	10.125	89.758	44.5	0.496
DBa-29	3.02	3.045	3.02	3.028	2.965	3	2.985	2.983	10.135	10.145	10.15	10.143	91.640	42.1	0.459
DBa-30	2.99	3.03	3.01	3.010	3.005	3.045	3.05	3.033	9.685	9.695	9.7	9.693	88.503	40.7	0.460

GRÁFICO DE DENSIDAD BÁSICA														
<p>DENSIDAD BÁSICA (GR/CM3)</p> <p>— Densidad Básica</p> <p>— Densidad Básica Promedio</p> <p>CÓDIGO PROBETA</p>														

3. RESULTADOS OBTENIDOS														
<p>DENSIDAD BÁSICA</p> <p>PROMEDIO (DB) = 0.463 gr/cm³</p> <p>Varianza (s²) = 0.0014</p> <p>Desviación Estándar (s) = 0.037</p> <p>Coficiente de Variación (CV) = 8.09</p>														
4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS														
<p>Se observa que la densidad básica promedio antes de secar en el horno es de: 0.463gr/cm³. De éste resultado podemos concluir que nos encontramos dentro de los límites recomendados por la NTP, ya que la misma establece que el pino es una madera liviana perteneciente al grupo C con una densidad entre: 0.40-0.55gr/cm³.</p>														

ANEXO 6. Densidad básica de madera después de secar en horno



ANEXO 7. Densidad básica en vigas de madera laminada encolada rectas

DENSIDAD BÁSICA EN VIGAS LAMINADAS RECTAS													24/04/2018		
1. PANEL FOTOGRAFICO															
<i>Probetas para Densidad Básica</i>				<i>Se miden los lados de la probeta para hallar su volumen</i>				<i>Se ingresa las probetas a la estufa</i>				<i>Luego de sacar de la estufa, se pesa cada probeta de tal manera podamos hallar su peso Anhidro</i>			
2. DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO															
COD. PROB	DIMENSIONES PROBETA ESTADO SATURADO (cm)												VOL. Saturado (cm ³)	Peso Anhid. (gr.)	Densidad Básica (gr/cm ³)
	"a1"	"a2"	"a3"	"a" Prom	"b1"	"b2"	"b3"	"b" Prom	"L1"	"L2"	"L3"	"L" Prom			
DBvr-101	3.055	3.06	3.05	3.055	2.909	3.025	3.04	2.991	10.08	10.09	10.095	10.088	92.192	43.8	0.475
DBvr-102	3.045	3.05	3.03	3.042	3.02	3.025	3.03	3.025	10.06	10.075	10.075	10.070	92.654	43.2	0.466
DBvr-201	3.075	3.06	3.07	3.068	3.055	3.07	3.075	3.067	10.075	10.075	10.08	10.077	94.817	48.8	0.515
DBvr-202	3.04	3.035	3.06	3.045	3.05	3.06	3.045	3.052	10.075	10.07	10.075	10.073	93.605	50.3	0.537
DBvr-301	3.06	3.065	3.075	3.067	3.06	3.06	3.07	3.063	10.09	10.075	10.075	10.080	94.694	44.5	0.470
DBvr-302	3.07	3.065	3.055	3.063	3.025	3.025	3.045	3.032	10.065	10.06	10.075	10.067	93.489	44.3	0.474
DBvr-401	3.04	3.06	3.06	3.053	3.06	3.07	3.055	3.062	10.07	10.08	10.085	10.078	94.215	44.9	0.477
DBvr-402	3.075	3.1	3.1	3.092	3.075	3.06	3.055	3.063	10.1	10.09	10.095	10.095	95.608	41.1	0.430
DBvr-501	3.05	3.06	3.055	3.055	3.065	3.07	3.08	3.072	10.085	10.08	10.095	10.087	94.653	45.5	0.481
DBvr-502	3.065	3.07	3.075	3.070	3.06	3.06	3.045	3.055	10.08	10.09	10.085	10.085	94.586	43.4	0.459
GRÁFICO DE DENSIDAD BÁSICA												3. RESULTADOS OBTENIDOS			
												DENSIDAD BÁSICA PROMEDIO (DB) = 0.478 gr/cm³ Varianza (s ²) = 0.0009 Desviacion Estandar (s) = 0.029 Coeficiente de Variacion (CV) = 6.15			
4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS															
<p><i>Se observa que la densidad básica promedio las vigas laminadas rectas es de: 0.478gr/cm³. Además se observa que la densidad es mayor al de la madera maciza. Podemos decir que aumenta la densidad por que además de la madera, tambien incide el pegamento que une la madera.</i></p>															

ANEXO 8. Densidad básica en vigas de madera laminada encolada en arco

DENSIDAD BÁSICA EN VIGAS LAMINADAS EN ARCO													24/04/2018		
1. PANEL FOTOGRAFICO															
<i>Probetas para Densidad Básica</i>				<i>Se miden los lados de la probeta para hallar su volumen</i>				<i>Se ingresa las probetas a la estufa</i>				<i>Luego de sacar de la estufa, se pesa cada probeta de tal manera podamos hallar su peso Anhidro</i>			
2. DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO															
COD. PROB	DIMENSIONES PROBETA ESTADO SATURADO (cm)												VOL. Saturado (cm ³)	Peso Anhid. (gr.)	Densidad Básica (gr/cm ³)
	"a1"	"a2"	"a3"	"a" Prom	"b1"	"b2"	"b3"	"b" Prom	"L1"	"L2"	"L3"	"L" Prom			
DBvc-101	3.06	3.07	3.075	3.068	3.07	3.06	3.065	3.065	10.125	10.125	10.135	10.128	95.251	43.6	0.458
DBvc-102	3.1	3.09	3.11	3.100	3.145	3.135	3.13	3.137	10.14	10.145	10.15	10.145	98.647	43.8	0.444

DBvc-201	3.06	3.065	3.07	3.065	3.055	3.05	3.06	3.055	10.085	10.08	10.09	10.085	94.432	40.3	0.427
DBvc-202	3.03	3.025	3.03	3.028	3.04	3.05	3.05	3.047	10.05	10.075	10.08	10.068	92.894	42.1	0.453
DBvc-301	3.055	3.08	3.11	3.082	3.03	3.03	3.015	3.025	10.01	10.015	10.02	10.015	93.360	47.5	0.509
DBvc-302	3.08	3.07	3.08	3.077	3.055	3.06	3.085	3.067	10.03	10.035	10.045	10.037	94.697	47.7	0.504
DBvc-401	3.07	3.05	3.045	3.055	3.06	3.07	3.075	3.068	10.055	10.03	10.035	10.040	94.113	45.3	0.481
DBvc-402	3.045	3.03	3.045	3.040	3.05	3.055	3.075	3.060	10.05	10.06	10.09	10.067	93.644	44.6	0.476
DBvc-501	3.07	3.07	3.075	3.072	3.06	3.075	3.09	3.075	10.07	10.07	10.05	10.063	95.052	44.8	0.471
DBvc-502	3.07	3.06	3.055	3.062	3.08	3.09	3.085	3.085	10.01	10.03	10.03	10.023	94.673	43.6	0.461

GRÁFICO DE DENSIDAD BÁSICA



3. RESULTADOS OBTENIDOS

DENSIDAD BÁSICA PROMEDIO

(DB) = **0.468 gr/cm³**
 Varianza (s²) = **0.0007**
 Desviación Estándar (s) = **0.025**
 Coeficiente de Variación (CV) = **5.44**

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se observa que la densidad básica promedio de las vigas laminadas en arco es de: 0.468gr/cm³. Además se observa que la densidad es mayor al de la madera maciza. Podemos decir que aumenta la densidad por que además de la madera, también incide el pegamento que une la madera.

ANEXO 9. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 1

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-1		26/01/2018															
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR					2. PROPIEDADES FÍSICAS																	
$b = 4.94 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 4.90 \text{ cm}$					$CH\% \text{ antes de secar} = 24.34 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.405 \text{ gr/cm}^3$ $CH\% \text{ despues de secar} = 10.79 \%$																	
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA																						
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA																	
0	0	0	0	0	4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TRAMO 1</th> <th colspan="2">TRAMO 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Esfuerzo en LPE (F_{bf})</td> <td style="text-align: center;">177.052 Kg/cm²</td> <td rowspan="2">Esfuerzo máximo (f_r)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">292.135 Kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})</td> <td style="text-align: center;">0.003300</td> </tr> <tr> <td>Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{tp} L^3}{4bh^3\delta_{tp}}$</td> <td style="text-align: center;">53652.041 Kg/cm²</td> <td>Deformación unitaria en LR (Du_{LR})</td> <td style="text-align: center;">0.007500</td> </tr> </tbody> </table>				TRAMO 1		TRAMO 2		Esfuerzo en LPE (F_{bf})	177.052 Kg/cm ²	Esfuerzo máximo (f_r)	292.135 Kg/cm ²	Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.003300	Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{tp} L^3}{4bh^3\delta_{tp}}$	53652.041 Kg/cm ²	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.007500
TRAMO 1		TRAMO 2																				
Esfuerzo en LPE (F_{bf})	177.052 Kg/cm ²	Esfuerzo máximo (f_r)	292.135 Kg/cm ²																			
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.003300																					
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{tp} L^3}{4bh^3\delta_{tp}}$	53652.041 Kg/cm ²	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.007500																			
1	20	0.03	17.705	0.000180																		
2	40	0.1	35.410	0.000600																		
3	60	0.15	53.116	0.000900																		
4	80	0.2	70.821	0.001200																		
5	100	0.23	88.526	0.001380																		
6	120	0.32	106.231	0.001920																		
7	140	0.35	123.936	0.002100																		
8	160	0.43	141.641	0.002580																		
9	180	0.48	159.347	0.002880																		
10	200	0.55	177.052	0.003300																		
11	220	0.67	194.757	0.004020																		
12	240	0.75	212.462	0.004500																		
13	260	0.83	230.167	0.004980																		
14	280	0.93	247.872	0.005580																		
15	300	0.98	265.578	0.005880																		
16	320	1.07	283.283	0.006420																		
17	330	1.25	292.135	0.007500																		
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO																	
<p style="text-align: center;">Tipo de falla A Tensión Simple (Vista Lateral) Anexo D de NTP 251.017</p>					<p>Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-1). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 1.25 cm y carga máxima de rotura = 330 kg</p>																	

ANEXO 10. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 2

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-2		26/01/2018						
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS									
$b = 4.95 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$				$CH\%$ antes de secar = 22.84 % Densidad Básica = 0.477 gr/cm ³ $CH\%$ despues de secar = 11.22 %									
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA													
N° Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformacion Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA								
					0	0	0	0	0	4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO			
					1	20	0.05	16.970	0.000306	TRAMO 1		TRAMO 2	
					2	40	0.1	33.939	0.000612	Esfuerzo en LPE (F _{b,f})	254.545 Kg/cm ²	Esfuerzo máximo (f _r)	390.303 Kg/cm ²
					3	60	0.17	50.909	0.001041	Deformación unitaria en LPE (Du _{LPE})	0.005204		
					4	80	0.23	67.879	0.001408	Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_L L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	48912.656 Kg/cm ²	Deformación unitaria en LR (Du _{LR})	0.010714
					5	100	0.28	84.848	0.001714				
					6	120	0.35	101.818	0.002143	5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA			
					7	140	0.4	118.788	0.002449	6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO			
					8	160	0.45	135.758	0.002755	Este cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-2). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 1.75cm y carga máxima de rotura = 460 kg			
					9	180	0.5	152.727	0.003061				
					10	200	0.55	169.697	0.003367				
					11	220	0.65	186.667	0.003980				
					12	240	0.7	203.636	0.004286				
					13	260	0.75	220.606	0.004592				
					14	280	0.79	237.576	0.004837				
					15	300	0.85	254.545	0.005204				
					16	320	0.95	271.515	0.005816				
					17	340	1.05	288.485	0.006429				
					18	360	1.2	305.455	0.007347				
					19	380	1.25	322.424	0.007653				
					20	400	1.3	339.394	0.007959				
					21	420	1.48	356.364	0.009061				
22	440	1.6	373.333	0.009796									
23	460	1.75	390.303	0.010714									



Tipo de falla C
Tensión de astillamiento (Vista de superficie de tensión)
Anexo D de NTP 251.017

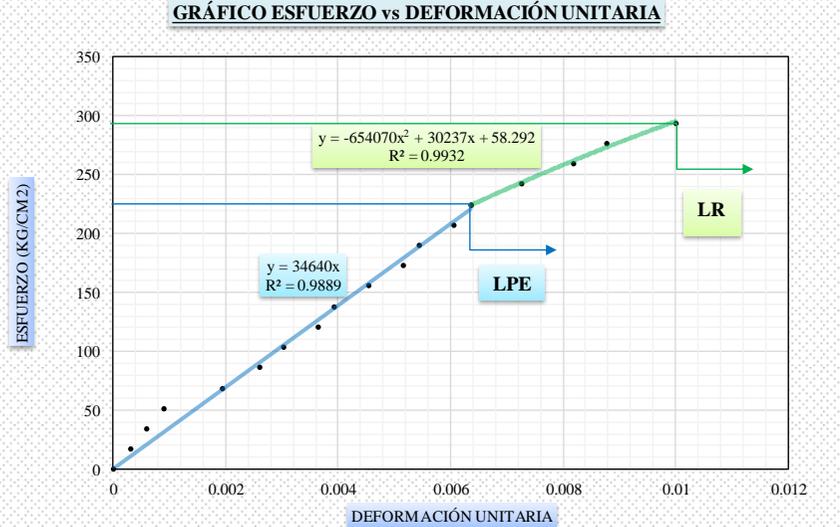
ANEXO 11. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 3

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-3	26/01/2018
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 4.96 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 4.98 \text{ cm}$			$CH\% \text{ antes de secar} = 21.88 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.399 \text{ gr/cm}^3$ $CH\% \text{ despues de secar} = 11.79 \%$			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	<p>GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA</p>	
0	0	0	0	0		
1	20	0.05	17.072	0.000305		
2	40	0.1	34.144	0.000610		
3	60	0.15	51.215	0.000915		
4	80	0.2	68.287	0.001220		
5	100	0.3	85.359	0.001829		
6	120	0.35	102.431	0.002134		
7	140	0.4	119.502	0.002439		
8	160	0.45	136.574	0.002744		
9	180	0.55	153.646	0.003354		
10	200	0.63	170.718	0.003842		
11	220	0.68	187.790	0.004147		
12	240	0.8	204.861	0.004878		
13	260	0.87	221.933	0.005305		
14	280	0.93	239.005	0.005671		
15	300	0.97	256.077	0.005915		
16	320	1.05	273.149	0.006403		
17	340	1.15	290.220	0.007013		
18	360	1.3	307.292	0.007927		
19	385	1.5	328.632	0.009147		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
			TRAMO 1		TRAMO 2	
			Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$) 187.790 Kg/cm ²		Esfuerzo máximo (f_r) 328.632 Kg/cm ²	
			Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE}) 0.004147		Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.009147	
			Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$ 45287.484 Kg/cm ²			
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA						
			<p>Tipo de falla D Tensión abrupta (Vista de superficie de Tensión) Anexo D de NTP 251.017</p>			
6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO						
<p>Este cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-3). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 1.5 cm y carga máxima de rotura = 385 kg</p>						

ANEXO 12. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 4

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-4	26/01/2018
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR					2. PROPIEDADES FÍSICAS	
$b = 4.95 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.01 \text{ cm}$					$CH\%$ antes de secar = 24.87 % Densidad Básica = 0.424 gr/cm ³ $CH\%$ despues de secar = 10.28 %	
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	<div style="text-align: center;"> GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA </div>	
0	0	0	0	0		
1	20	0.03	16.902	0.000184		
2	40	0.1	33.804	0.000613		
3	60	0.2	50.706	0.001227		
4	80	0.24	67.608	0.001472		
5	100	0.28	84.510	0.001718		
6	120	0.33	101.412	0.002024		
7	140	0.4	118.314	0.002454		
8	160	0.5	135.216	0.003067		
9	180	0.6	152.118	0.003681		
10	200	0.7	169.020	0.004294		
11	220	0.75	185.922	0.004601		
12	240	0.8	202.824	0.004908		
13	260	0.85	219.726	0.005214		
14	280	0.9	236.628	0.005521		
15	300	1.05	253.530	0.006441		
16	320	1.15	270.432	0.007055		
17	340	1.25	287.334	0.007668		
18	360	1.3	304.236	0.007975		
19	380	1.45	321.138	0.008895		
20	400	1.5	338.040	0.009202		
21	420	1.65	354.942	0.010122		
22	440	1.7	371.844	0.010429		
23	460	1.8	388.746	0.011042		
24	480	1.95	405.649	0.011963		
25	500	2.08	422.551	0.012760		
26	520	2.35	439.453	0.014417		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO					5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA	
					TRAMO 1	TRAMO 2
					Esfuerzo en LPE (F_{bf})	236.628 Kg/cm ²
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.005521
					Modulo de elasticidad (MOE)	42857.938 Kg/cm ²
					$MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3\delta_{ip}}$	0.014417
					Esfuerzo máximo (f_r)	439.453 Kg/cm ²
					Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.014417
6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO						
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA						
					Tipo de falla A Tensión Simple (Vista Lateral)	
Anexo D de NTP 251.017					Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estandar (P-4). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 2.35 cm y carga máxima de rotura = 520 kg	

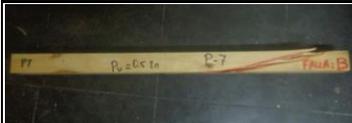
ANEXO 13. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 5

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-5		26/01/2018	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS				
$b = 4.95 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 4.95 \text{ cm}$				$CH\% \text{ antes de secar} = 24.61 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.412 \text{ gr/cm}^3$ $CH\% \text{ despues de secar} = 10.26 \%$				
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA								
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA 			
0	0	0	0	0				
1	20	0.05	17.314	0.000303				
2	40	0.1	34.629	0.000606				
3	60	0.15	51.943	0.000909				
4	80	0.32	69.257	0.001940				
5	100	0.43	86.571	0.002606				
6	120	0.5	103.886	0.003031				
7	140	0.6	121.200	0.003637				
8	160	0.65	138.514	0.003940				
9	180	0.75	155.828	0.004546				
10	200	0.85	173.143	0.005152				
11	220	0.9	190.457	0.005455				
12	240	1	207.771	0.006061				
13	260	1.05	225.085	0.006364				
14	280	1.2	242.400	0.007273				
15	300	1.35	259.714	0.008183				
16	320	1.45	277.028	0.008789				
17	340	1.65	294.342	0.010001				
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO								
TRAMO 1					TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE (F_{bf})					225.085 Kg/cm2			
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})					0.006364			
Modulo de elasticidad (MOE)					35366.932 Kg/cm2			
$MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$					Esfuerzo máximo (f_r) 294.342 Kg/cm2			
					Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.010001			
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA								
				Tipo de falla D Tensión abrupta (Vista de superficie de Tensión) Anexo D de NTP 251.017				
6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO								
Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-5). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 1.65 cm y carga máxima de rotura = 340 kg								

ANEXO 14. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 6

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-6		26/01/2018						
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS									
$b = 5.00 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 4.95 \text{ cm}$				$CH\% \text{ antes de secar} = 23.27 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.426 \text{ gr/cm}^3$ $CH\% \text{ despues de secar} = 10.42 \%$									
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA													
N° Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA								
					0	0	0	0	0				
					1	20	0.05	17.141	0.000303				
					2	40	0.1	34.282	0.000606				
					3	60	0.15	51.423	0.000909				
					4	80	0.23	68.564	0.001394				
					5	100	0.28	85.706	0.001697				
					6	120	0.35	102.847	0.002121				
					7	140	0.45	119.988	0.002728				
					8	160	0.5	137.129	0.003031				
					9	180	0.55	154.270	0.003334				
					10	200	0.6	171.411	0.003637				
					11	220	0.67	188.552	0.004061				
					12	240	0.75	205.693	0.004546				
					13	260	0.82	222.834	0.004970				
					14	280	0.95	239.976	0.005758				
					15	300	1.05	257.117	0.006364				
					16	320	1.2	274.258	0.007273				
					17	340	1.35	291.399	0.008183				
18	360	1.42	308.540	0.008607									
19	380	1.65	325.681	0.010001									
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO													
					TRAMO 1		TRAMO 2						
					Esfuerzo en LPE (F_{bf})		Esfuerzo máximo (f_r)						
					222.834 Kg/cm2		325.681 Kg/cm2						
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})						
					0.004970		0.010001						
					Modulo de elasticidad (MOE)								
					$MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$		44834.055 Kg/cm2						
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO								
<p>Tipo de falla A Tensión Simple (Vista Lateral) Anexo D de NTP 251.017</p>					<p>Este cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-6). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 1.65 cm y carga máxima de rotura = 380 kg</p>								

ANEXO 15. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 7

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-7	26/01/2018
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS		
b= 4.98 cm		L= 70.00 cm		CH% antes de secar = 22.93 %		Densidad Básica = 0.498 gr/cm ³
h= 5.03 cm				CH% despues de secar = 10.79 %		
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA	
0	0	0	0	0		
1	20	0.04	16.667	0.000246		
2	40	0.1	33.334	0.000616		
3	60	0.2	50.001	0.001232		
4	80	0.25	66.667	0.001540		
5	100	0.3	83.334	0.001848		
6	120	0.34	100.001	0.002094		
7	140	0.38	116.668	0.002340		
8	160	0.42	133.335	0.002587		
9	180	0.48	150.002	0.002956		
10	200	0.52	166.669	0.003203		
11	220	0.58	183.336	0.003572		
12	240	0.63	200.002	0.003880		
13	260	0.7	216.669	0.004311		
14	280	0.75	233.336	0.004619		
15	300	0.85	250.003	0.005235		
16	320	0.9	266.670	0.005543		
17	340	1.05	283.337	0.006467		
18	360	1.15	300.004	0.007083		
19	380	1.25	316.670	0.007699		
20	400	1.4	333.337	0.008623		
21	420	1.48	350.004	0.009116		
22	440	1.55	366.671	0.009547		
23	460	1.65	383.338	0.010163		
24	480	1.8	400.005	0.011087		
25	500	2.1	416.672	0.012934		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO					TRAMO 1	
			Esfuerzo en LPE (F _{b,f})	266.670 Kg/cm ²		
			Deformación unitaria en LPE (Du _{LPE})	0.005543		
			Modulo de elasticidad (MOE)	48107.003 Kg/cm ²		
			$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$			
TRAMO 2					Esfuerzo máximo (f _r)	
					416.672 Kg/cm ²	
TRAMO 2					Deformación unitaria en LR (Du _{LR})	
					0.012934	
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO	
			Tipo de falla		<p>Este cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-7). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 2.1 cm y carga máxima de rotura = 500kg</p>	
			B			
			Tension de grano entrecruzado (Vista Lateral)			
			Anexo D de NTP 251.017			

ANEXO 16. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 8

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-8		26/01/2018						
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS									
$b = 4.96 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 4.98 \text{ cm}$				$CH\% \text{ antes de secar} = 24.11 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.443 \text{ gr/cm}^3$ $CH\% \text{ despues de secar} = 10.93 \%$									
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA													
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA								
					0	0	0	0	0				
					1	20	0.04	17.072	0.000244				
					2	40	0.1	34.144	0.000610				
					3	60	0.15	51.215	0.000915				
					4	80	0.2	68.287	0.001220				
					5	100	0.27	85.359	0.001646				
					6	120	0.35	102.431	0.002134				
					7	140	0.43	119.502	0.002622				
					8	160	0.5	136.574	0.003049				
					9	180	0.57	153.646	0.003476				
					10	200	0.65	170.718	0.003964				
					11	220	0.7	187.790	0.004269				
					12	240	0.75	204.861	0.004573				
					13	260	0.8	221.933	0.004878				
					14	280	0.95	239.005	0.005793				
					15	300	1.03	256.077	0.006281				
					16	320	1.13	273.149	0.006891				
					17	340	1.25	290.220	0.007622				
					18	360	1.32	307.292	0.008049				
19	380	1.43	324.364	0.008720									
20	400	1.65	341.436	0.010062									
					4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO								
					TRAMO 1		TRAMO 2						
					Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)		Esfuerzo máximo (f_r)						
					221.933 Kg/cm2		341.436 Kg/cm2						
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})						
					0.004878		0.010062						
					Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$								
					45493.336 Kg/cm2								
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO								
					<p>Tipo de falla C</p> <p>Tensión de astillamiento (Vista de superficie de tensión) Anexo D de NTP 251.017</p> <p>Este cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-8). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 1.65 cm y carga máxima de rotura = 400 kg</p>								

ANEXO 17. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 9

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-9	26/01/2018
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 5.02 \text{ cm}$ $h = 5.05 \text{ cm}$			$L = 70.00 \text{ cm}$ CH% antes de secar = 23.13 % CH% despues de secar = 10.92 % Densidad Básica = 0.494 gr/cm ³			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA	
0	0	0	0	0		
1	20	0.03	16.403	0.000186		
2	40	0.15	32.807	0.000928		
3	60	0.23	49.210	0.001422		
4	80	0.27	65.613	0.001670		
5	100	0.33	82.017	0.002041		
6	120	0.4	98.420	0.002473		
7	140	0.43	114.824	0.002659		
8	160	0.5	131.227	0.003092		
9	180	0.53	147.630	0.003277		
10	200	0.58	164.034	0.003587		
11	220	0.63	180.437	0.003896		
12	240	0.7	196.840	0.004329		
13	260	0.75	213.244	0.004638		
14	280	0.8	229.647	0.004947		
15	300	0.85	246.050	0.005256		
16	320	0.9	262.454	0.005565		
17	340	0.95	278.857	0.005874		
18	360	1	295.260	0.006184		
19	380	1.05	311.664	0.006493		
20	400	1.25	328.067	0.007730		
21	420	1.35	344.471	0.008348		
22	440	1.45	360.874	0.008966		
23	460	1.55	377.277	0.009585		
24	480	1.6	393.681	0.009894		
25	500	1.8	410.084	0.011131		
26	520	1.85	426.487	0.011440		
27	540	1.95	442.891	0.012058		
28	560	2.15	459.294	0.013295		
29	580	2.45	475.697	0.015150		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO					5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA	
					TRAMO 1	TRAMO 2
					Esfuerzo en LPE (F_{bf})	311.664 Kg/cm ²
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.006493
					Esfuerzo máximo (f_r)	475.697 Kg/cm ²
					Modulo de elasticidad (MOE)	48001.032 Kg/cm ²
					$MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})
						0.015150
6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO			7. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA			
			Tipo de falla A			
			Tensión Simple (Vista Lateral) Anexo D de NTP 251.017			
<p>Este cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-9). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 2.45 cm y carga máxima de rotura = 580 kg</p>						

ANEXO 18. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 10

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-10		26/01/2018		
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS					
$b = 4.95 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 4.94 \text{ cm}$				$CH\% \text{ antes de secar} = 22.73 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.424 \text{ gr/cm}^3$ $CH\% \text{ despues de secar} = 11.91 \%$					
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA									
N° Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA				
					0	0	0	0	0
					1	20	0.08	17.384	0.000484
					2	40	0.1	34.769	0.000605
					3	60	0.13	52.153	0.000786
					4	80	0.2	69.538	0.001210
					5	100	0.27	86.922	0.001633
					6	120	0.33	104.307	0.001996
					7	140	0.4	121.691	0.002420
					8	160	0.47	139.075	0.002843
					9	180	0.55	156.460	0.003327
					10	200	0.6	173.844	0.003629
					11	220	0.7	191.229	0.004234
					12	240	0.8	208.613	0.004839
					13	260	0.85	225.997	0.005142
					14	280	0.9	243.382	0.005444
15	300	1	260.766	0.006049					
16	320	1.25	278.151	0.007561					
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO									
				TRAMO 1		TRAMO 2			
				Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)		Esfuerzo máximo (f_r)			
				173.844 Kg/cm2		278.151 Kg/cm2			
				Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})			
				0.003629		0.007561			
				Modulo de elasticidad (MOE)					
				$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$		47899.042 Kg/cm2			
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA									
				Tipo de falla D Tensión abrupta (Vista de superficie de Tensión) Anexo D de NTP 251.017					
6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO									
Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-10). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 1.25 cm y carga máxima de rotura = 320 kg									

ANEXO 19. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 11

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-11		26/01/2018					
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS								
$b = 4.99 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.02 \text{ cm}$				$CH\% \text{ antes de secar} = 21.08 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.449 \text{ gr/cm}^3$ $CH\% \text{ despues de secar} = 12.01 \%$								
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA												
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA							
0	0	0	0	0								
1	20	0.03	16.700	0.000184								
2	40	0.08	33.400	0.000492								
3	60	0.13	50.099	0.000799								
4	80	0.17	66.799	0.001045								
5	100	0.23	83.499	0.001414								
6	120	0.33	100.199	0.002028								
7	140	0.45	116.899	0.002766								
8	160	0.5	133.598	0.003073								
9	180	0.55	150.298	0.003381								
10	200	0.6	166.998	0.003688								
11	220	0.7	183.698	0.004303								
12	240	0.8	200.398	0.004918								
13	260	0.85	217.097	0.005225								
14	280	1.05	233.797	0.006454								
15	300	1.1	250.497	0.006762								
16	320	1.2	267.197	0.007376								
17	340	1.3	283.897	0.007991								
18	360	1.35	300.596	0.008298					4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO			
19	380	1.45	317.296	0.008913					TRAMO 1		TRAMO 2	
20	400	1.5	333.996	0.009220					Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)		Esfuerzo máximo (f_r)	
21	420	1.7	350.696	0.010450					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})		0.012601	
22	440	1.75	367.396	0.010757					Modulo de elasticidad (MOE)		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	
23	460	2.05	384.095	0.012601	$MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$ 41550.557 Kg/cm2		0.012601					
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO							
					<p>Tipo de falla D Tensión abrupta (Vista de superficie de Tensión) Anexo D de NTP 251.017</p>							
					<p>Este cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-11). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 2.05 cm y carga máxima de rotura = 460 kg</p>							

ANEXO 20. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 12

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-12		26/01/2018	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR					2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 4.93 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 4.96 \text{ cm}$					$CH\%$ antes de secar = 21.64 % $Densidad \text{ Básica} = 0.404 \text{ gr/cm}^3$ $CH\%$ despues de secar = 10.29 %			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA								
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	Deformacion Unitaria (Du) $Du = 6x\delta x h x L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA			
0	0	0	0	0				
1	20	0.05	17.314	0.000304				
2	40	0.14	34.629	0.000850				
3	60	0.19	51.943	0.001154				
4	80	0.24	69.258	0.001458				
5	100	0.29	86.572	0.001761				
6	120	0.38	103.887	0.002308				
7	140	0.46	121.201	0.002794				
8	160	0.51	138.516	0.003097				
9	180	0.54	155.830	0.003280				
10	200	0.57	173.145	0.003462				
11	220	0.6	190.459	0.003644				
12	240	0.73	207.774	0.004434				
13	260	0.8	225.088	0.004859				
14	280	0.95	242.402	0.005770				
15	300	1	259.717	0.006073				
16	320	1.1	277.031	0.006681				
17	340	1.35	294.346	0.008199				
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO					TRAMO 1			
					Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)		TRAMO 2	
					190.459 Kg/cm2			
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})		Esfuerzo máximo (f_r)	
					0.003644		294.346 Kg/cm2	
					Modulo de elasticidad (MOE)		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	
					$MOE = \frac{P_{1p} L^3}{4bh^3\delta_{1p}}$ 52265.320 Kg/cm2		0.008199	
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO			
			Tipo de falla B Tension de grano entrecruzado (Vista Lateral) Anexo D de NTP 251.017		Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-12). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 1.35 cm y carga máxima de rotura = 340 kg			

ANEXO 21. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 13

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-13		26/01/2018															
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR					2. PROPIEDADES FÍSICAS																	
$b = 5.02 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 4.90 \text{ cm}$					$CH\%$ antes de secar = 23.64 % $Densidad \text{ B\u00e1sica} = 0.413 \text{ gr/cm}^3$ $CH\%$ despues de secar = 10.79 %																	
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA																						
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA																	
0	0	0	0	0	4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TRAMO 1</th> <th colspan="2">TRAMO 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)</td> <td>156.807 Kg/cm2</td> <td rowspan="2">Esfuerzo máximo (f_r)</td> <td>278.768 Kg/cm2</td> </tr> <tr> <td>Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})</td> <td>0.003000</td> </tr> <tr> <td>Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$</td> <td>52269.058 Kg/cm2</td> <td>Deformación unitaria en LR (Du_{LR})</td> <td>0.006900</td> </tr> </tbody> </table>				TRAMO 1		TRAMO 2		Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)	156.807 Kg/cm2	Esfuerzo máximo (f_r)	278.768 Kg/cm2	Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.003000	Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	52269.058 Kg/cm2	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.006900
TRAMO 1		TRAMO 2																				
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)	156.807 Kg/cm2	Esfuerzo máximo (f_r)	278.768 Kg/cm2																			
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.003000																					
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	52269.058 Kg/cm2	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.006900																			
1	20	0.03	17.423	0.000180																		
2	40	0.08	34.846	0.000480																		
3	60	0.13	52.269	0.000780																		
4	80	0.2	69.692	0.001200																		
5	100	0.25	87.115	0.001500																		
6	120	0.3	104.538	0.001800																		
7	140	0.4	121.961	0.002400																		
8	160	0.45	139.384	0.002700																		
9	180	0.5	156.807	0.003000																		
10	200	0.6	174.230	0.003600																		
11	220	0.65	191.653	0.003900																		
12	240	0.75	209.076	0.004500																		
13	260	0.85	226.499	0.005100																		
14	280	0.9	243.922	0.005400																		
15	300	1	261.345	0.006000																		
16	320	1.15	278.768	0.006900																		
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO																	
					Tipo de falla B Tension de grano entrecruzado (Vista Lateral) Anexo D de NTP 251.017 Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-13). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 1.15 cm y carga máxima de rotura = 320 kg																	

ANEXO 22. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 14

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-14		26/01/2018					
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR					2. PROPIEDADES FÍSICAS							
$b = 4.99 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.04 \text{ cm}$					$CH\% \text{ antes de secar} = 24.15 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.501 \text{ gr/cm}^3$ $CH\% \text{ despues de secar} = 10.43 \%$							
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA												
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	<p>GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA</p>							
0	0	0	0	0								
1	20	0.04	16.568	0.000247								
2	40	0.1	33.135	0.000617								
3	60	0.2	49.703	0.001234								
4	80	0.25	66.270	0.001543								
5	100	0.3	82.838	0.001851								
6	120	0.4	99.405	0.002469								
7	140	0.5	115.973	0.003086								
8	160	0.52	132.540	0.003209								
9	180	0.55	149.108	0.003394								
10	200	0.6	165.675	0.003703								
11	220	0.7	182.243	0.004320								
12	240	0.8	198.810	0.004937								
13	260	1	215.378	0.006171								
14	280	1.1	231.945	0.006789								
15	300	1.15	248.513	0.007097								
16	320	1.2	265.080	0.007406								
17	340	1.3	281.648	0.008023								
18	360	1.4	298.215	0.008640								
19	380	1.45	314.783	0.008949								
20	400	1.55	331.351	0.009566								
21	420	1.65	347.918	0.010183								
22	440	1.75	364.486	0.010800								
23	460	1.85	381.053	0.011417								
24	480	1.9	397.621	0.011726								
25	500	2.1	414.188	0.012960								
26	530	2.4	439.039	0.014811								
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO							
<p>Tipo de falla B Tension de grano entrecruzado (Vista Lateral) Anexo D de NTP 251.017</p>					TRAMO 1		TRAMO 2					
					Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)		198.810 Kg/cm ²		Esfuerzo máximo (f_r)		439.039 Kg/cm ²	
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})		0.004937					
					Modulo de elasticidad (MOE)		40268.294 Kg/cm ²		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})		0.014811	
					$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$							
					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO					<p>Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-14). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 2.4 cm y carga máxima de rotura = 530 kg</p>		

ANEXO 23. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 15

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-15		26/01/2018	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR					2. PROPIEDADES FÍSICAS			
b= 4.96 cm h= 5.03 cm L= 70.00 cm					CH% antes de secar = 24.49 % CH% despues de secar = 9.50 % Densidad Básica = 0.468 gr/cm ³			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA								
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA 			
0	0	0	0	0				
1	20	0.03	16.734	0.000185				
2	40	0.13	33.468	0.000801				
3	60	0.23	50.202	0.001417				
4	80	0.28	66.936	0.001725				
5	100	0.35	83.670	0.002156				
6	120	0.45	100.404	0.002772				
7	140	0.55	117.139	0.003388				
8	160	0.65	133.873	0.004003				
9	180	0.75	150.607	0.004619				
10	200	0.78	167.341	0.004804				
11	220	0.83	184.075	0.005112				
12	240	0.87	200.809	0.005358				
13	260	0.95	217.543	0.005851				
14	280	1	234.277	0.006159				
15	300	1.05	251.011	0.006467				
16	320	1.2	267.745	0.007391				
17	340	1.25	284.479	0.007699				
18	360	1.3	301.213	0.008007				
19	380	1.5	317.947	0.009239				
20	400	1.63	334.681	0.010039				
21	420	1.73	351.416	0.010655				
22	440	1.8	368.150	0.011087				
23	460	1.95	384.884	0.012010				
24	480	2.1	401.618	0.012934				
25	500	2.3	418.352	0.014166				
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO					4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO			
					TRAMO 1		TRAMO 2	
					Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)		Esfuerzo máximo (f_r)	
					251.011 Kg/cm ²		418.352 Kg/cm ²	
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	
					0.006467		0.014166	
					Modulo de elasticidad (MOE)			
					$MOE = \frac{P_{ip} L^3}{4bh^3 \delta_{ip}}$		38813.290 Kg/cm ²	
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO			
			Tipo de falla A Tensión Simple (Vista Lateral) Anexo D de NTP 251.017		Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-15). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 2.3 cm y carga máxima de rotura = 500 kg			

ANEXO 24. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 16

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-16		26/01/2018																			
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS																						
$b = 4.97 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 4.99 \text{ cm}$				$CH\% \text{ antes de secar} = 24.66 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.468 \text{ gr/cm}^3$ $CH\% \text{ despues de secar} = 11.67 \%$																						
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA																										
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA																					
					0	0	0	0	0	4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO																
					1	20	0.05	16.969	0.000306																	
					2	40	0.12	33.938	0.000733																	
					3	60	0.2	50.908	0.001222																	
					4	80	0.25	67.877	0.001528																	
					5	100	0.3	84.846	0.001833																	
					6	120	0.45	101.815	0.002750																	
					7	140	0.5	118.785	0.003055																	
					8	160	0.6	135.754	0.003666																	
					9	180	0.7	152.723	0.004277																	
					10	200	0.8	169.692	0.004888																	
					11	220	0.9	186.661	0.005499																	
					12	240	1	203.631	0.006110																	
					13	260	1.1	220.600	0.006721																	
					14	280	1.2	237.569	0.007332																	
					15	300	1.25	254.538	0.007638																	
					16	320	1.3	271.507	0.007943																	
					17	340	1.45	288.477	0.008860																	
					18	360	1.63	305.446	0.009960																	
					19	380	1.7	322.415	0.010387																	
					20	400	1.83	339.384	0.011182																	
					21	420	1.96	356.354	0.011976																	
22	440	2.08	373.323	0.012709																						
23	460	2.5	390.292	0.015276																						
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO																					
					<p>Tipo de falla B</p> <p>Tension de grano entrecruzado (Vista Lateral)</p> <p>Anexo D de NTP 251.017</p>																					
<p>Este cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-16). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 2.5 cm y carga máxima de rotura = 460 kg</p>					<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TRAMO 1</th> <th colspan="2">TRAMO 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Esfuerzo en LPE (F_{bf})</td> <td>271.507 Kg/cm2</td> <td rowspan="2">Esfuerzo máximo (f_r)</td> <td rowspan="2">390.292 Kg/cm2</td> </tr> <tr> <td>Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})</td> <td>0.007943</td> </tr> <tr> <td>Modulo de elasticidad (MOE)</td> <td>34180.840 Kg/cm2</td> <td>Deformación unitaria en LR (Du_{LR})</td> <td>0.015276</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> $MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$ </td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>				TRAMO 1		TRAMO 2		Esfuerzo en LPE (F_{bf})	271.507 Kg/cm2	Esfuerzo máximo (f_r)	390.292 Kg/cm2	Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.007943	Modulo de elasticidad (MOE)	34180.840 Kg/cm2	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.015276	$MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$			
TRAMO 1		TRAMO 2																								
Esfuerzo en LPE (F_{bf})	271.507 Kg/cm2	Esfuerzo máximo (f_r)	390.292 Kg/cm2																							
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.007943																									
Modulo de elasticidad (MOE)	34180.840 Kg/cm2	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.015276																							
$MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$																										

ANEXO 25. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 17

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-17		26/01/2018	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR					2. PROPIEDADES FÍSICAS			
b= 5.02 cm L= 70.00 cm h= 5.03 cm					CH% antes de secar = 22.91 % Densidad Básica = 0.502 gr/cm ³ CH% despues de secar = 11.03 %			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA								
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA 			
0	0	0	0	0				
1	20	0.05	16.534	0.000308				
2	40	0.17	33.068	0.001047				
3	60	0.23	49.602	0.001417				
4	80	0.28	66.136	0.001725				
5	100	0.38	82.670	0.002340				
6	120	0.5	99.204	0.003080				
7	140	0.6	115.738	0.003696				
8	160	0.7	132.273	0.004311				
9	180	0.85	148.807	0.005235				
10	200	0.95	165.341	0.005851				
11	220	1.03	181.875	0.006344				
12	240	1.08	198.409	0.006652				
13	260	1.2	214.943	0.007391				
14	280	1.25	231.477	0.007699				
15	300	1.35	248.011	0.008315				
16	320	1.4	264.545	0.008623				
17	340	1.45	281.079	0.008931				
18	360	1.6	297.613	0.009855				
19	380	1.7	314.147	0.010471				
20	400	1.75	330.681	0.010779				
21	420	1.88	347.215	0.011579				
22	440	2	363.749	0.012318				
23	460	2.05	380.283	0.012626				
24	480	2.2	396.818	0.013550				
25	500	2.35	413.352	0.014474				
26	520	2.4	429.886	0.014782				
27	540	2.6	446.420	0.016014				
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO					4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO			
					TRAMO 1		TRAMO 2	
					Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$) 281.079 Kg/cm ²		Esfuerzo máximo (f_r) 446.420 Kg/cm ²	
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE}) 0.008931			
					Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{ip} L^3}{4bh^3 \delta_{ip}}$ 31472.944 Kg/cm ²		Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.016014	
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO			
			Tipo de falla D Tensión abrupta (Vista de superficie de Tensión) Anexo D de NTP 251.017		Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-17). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 2.6 cm y carga máxima de rotura = 540 kg			

ANEXO 26. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 18

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-18		26/01/2018						
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS									
$b = 4.95 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.03 \text{ cm}$				$CH\%$ antes de secar = 23.31 % Densidad Básica = 0.460 gr/cm ³ $CH\%$ despues de secar = 11.00 %									
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA													
N° Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformacion Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA								
					0	0	0	0	0				
					1	20	0.02	17.039	0.000123				
					2	40	0.1	34.078	0.000616				
					3	60	0.17	51.117	0.001047				
					4	80	0.27	68.155	0.001663				
					5	100	0.35	85.194	0.002156				
					6	120	0.45	102.233	0.002772				
					7	140	0.52	119.272	0.003203				
					8	160	0.6	136.311	0.003696				
					9	180	0.72	153.350	0.004435				
					10	200	0.75	170.389	0.004619				
					11	220	0.8	187.428	0.004927				
					12	240	0.85	204.466	0.005235				
					13	260	0.9	221.505	0.005543				
					14	280	1.05	238.544	0.006467				
					15	300	1.15	255.583	0.007083				
					16	320	1.2	272.622	0.007391				
					17	340	1.3	289.661	0.008007				
					18	360	1.42	306.700	0.008746				
					19	380	1.52	323.739	0.009362				
20	400	1.6	340.777	0.009855									
21	420	1.95	357.816	0.012010									
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO													
TRAMO 1					TRAMO 2								
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)					221.505 Kg/cm ²		Esfuerzo máximo (f_r)		357.816 Kg/cm ²				
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})					0.005543		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})		0.012010				
Modulo de elasticidad (MOE)					39323.830 Kg/cm ²								
$MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$													
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO								
					Tipo de falla A Tensión Simple (Vista Lateral) Anexo D de NTP 251.017								
Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-18). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 1.95 cm y carga máxima de rotura = 420 kg													

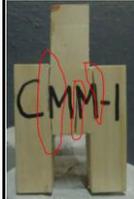
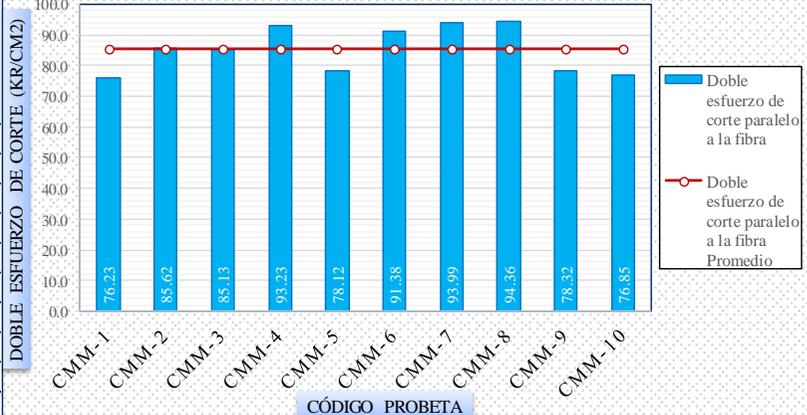
ANEXO 27. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 19

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-19		26/01/2018	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS				
b= 4.97 cm		L= 70.00 cm		CH% antes de secar = 22.27 %		Densidad Básica = 0.507 gr/cm ³		
h= 5.00 cm				CH% despues de secar = 10.82 %				
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA								
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA			
0	0	0	0	0				
1	20	0.05	16.901	0.000306				
2	40	0.08	33.803	0.000490				
3	60	0.13	50.704	0.000796				
4	80	0.18	67.606	0.001102				
5	100	0.25	84.507	0.001531				
6	120	0.35	101.408	0.002143				
7	140	0.45	118.310	0.002755				
8	160	0.5	135.211	0.003061				
9	180	0.53	152.113	0.003245				
10	200	0.6	169.014	0.003673				
11	220	0.7	185.915	0.004286				
12	240	0.8	202.817	0.004898				
13	260	0.9	219.718	0.005510				
14	280	0.95	236.620	0.005816				
15	300	1.05	253.521	0.006429				
16	320	1.2	270.423	0.007347				
17	340	1.3	287.324	0.007959				
18	360	1.4	304.225	0.008571				
19	380	1.45	321.127	0.008878				
20	400	1.55	338.028	0.009490				
21	420	1.65	354.930	0.010102				
22	440	1.85	371.831	0.011327				
23	460	2.05	388.732	0.012551				
24	480	2.4	405.634	0.014694				
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO					TRAMO 1		TRAMO 2	
					Esfuerzo en LPE (F_{bf})		253.521 Kg/cm ²	
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})		0.006429	
					Modulo de elasticidad (MOE)		39436.620 Kg/cm ²	
					$MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$			
					Esfuerzo máximo (f_r)		405.634 Kg/cm ²	
					Deformación unitaria en LR (Du_{LR})		0.014694	
5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO			
			<p>Tipo de falla B</p> <p>Tension de grano entrecruzado (Vista Lateral)</p> <p>Anexo D de NTP 251.017</p>		<p>Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-19). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 2.4cm y carga máxima de rotura = 480 kg</p>			

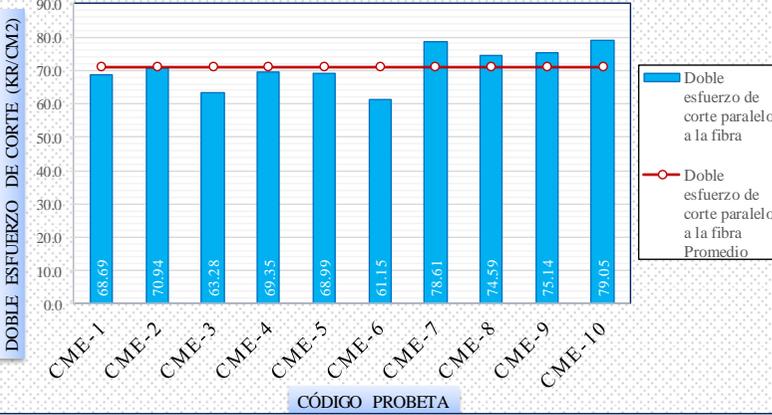
ANEXO 28. Ensayo a flexión estática de probeta estándar 20

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-20		26/01/2018						
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS									
$b = 4.97 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.01 \text{ cm}$				$CH\% \text{ antes de secar} = 22.03 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.430 \text{ gr/cm}^3$ $CH\% \text{ despues de secar} = 10.19 \%$									
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA													
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA								
					4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO								
									TRAMO 1		TRAMO 2		
									Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)		202.008 Kg/cm2		
									Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})		0.005521		
									Modulo de elasticidad (MOE)		33406.021 Kg/cm2		
									$MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})		
											0.014417		
					5. DESCRIPCIÓN DE PROBETA ESTANDAR ENSAYADA				6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO				
							Tipo de falla C Tensión de astillamiento (Vista de superficie de tensión) Anexo D de NTP 251.017			Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la probeta estándar (P-20). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 2.35 cm y carga máxima de rotura = 460 kg			

ANEXO 29. Ensayo de esfuerzo de corte paralelo a la fibra en probetas de madera maciza

ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA EN PROBETAS DE MADERA MACIZA									18/04/2018
1. PANEL FOTOGRAFICO									
Probetas de madera maciza		Inicio de ensayo de doble esfuerzo de corte		Fin de ensayo de doble esfuerzo de corte.		Estudio de tipo de fallas generadas en las probetas del ensayo de boble esfuerzo de corte.			
						 <p>Falla doble en direccion de la fibra se da en las dos caras de corte</p>	 <p>Falla simple en direccion de la fibra se da en una cara de corte</p>	 <p>Falla multiple en direccion de la fibra en las dos caras de corte y se da una falla adicional al centro y parte baja de la probeta</p>	
2. ENSAYO DE DOBLE ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA									
COD. PROB.	Ancho de seccion (b) cm	Altura de seccion (h) cm	Area de seccion "A" cm2	Carga máxima (P) kg	Doble Esf. de corte ($F_{b,cz,d}$) $\frac{P}{2A}$ kg/cm2	Densidad Basica (DB) gr/cm3	Cont. de Hum. (CH) %	TIPO DE FALLA	
CMM-1	4.898	5.075	24.855	3789.26	76.23	0.50	9.95	Falla multiple	
CMM-2	4.961	5.068	25.141	4305.24	85.62	0.52	10.00	Falla doble	
CMM-3	4.871	5.103	24.856	4231.82	85.13	0.48	10.63	Falla simple	
CMM-4	4.924	5.043	24.828	4629.50	93.23	0.51	10.18	Falla doble	
CMM-5	4.909	5.118	25.121	3924.88	78.12	0.45	10.68	Falla simple	
CMM-6	4.953	5.070	25.109	4588.72	91.38	0.51	10.55	Falla simple	
CMM-7	5.016	5.068	25.420	4778.38	93.99	0.49	11.03	Falla multiple	
CMM-8	4.901	5.118	25.082	4733.52	94.36	0.50	9.93	Falla simple	
CMM-9	4.978	5.011	24.946	3907.55	78.32	0.46	9.83	Falla simple	
CMM-10	4.970	5.048	25.086	3855.54	76.85	0.46	11.27	Falla doble	
GRÁFICO DE DOBLE ESFUERZO DE CORTE									
									
3. RESULTADOS OBTENIDOS									
DOBLE ESFUERZO DE CORTE PARALELO A FIBRA PROM. ($F_{b,cz,d}$) =					85.32 kg/cm2				
ESFUERZO DE CORTE PARALELO A FIBRA PROM. ($F_{b,cz}$) =					42.66 kg/cm2				
Varianza (s2) =					56.84				
Desviacion Estandar (s) =					7.539				
Coeficiente de Variacion (CV) =					8.84				
4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS									
<p>Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo de doble esfuerzo de corte paralelo a la fibra en probetas de madera maciza. Los datos obtenidos son los siguientes: Contenido de Humedad, Densidad básica, doble esfuerzo de corte de donde se determina determina el esfuerzo de corte paralelo a la fibra 42.66 kg/cm2.</p>									

ANEXO 30. Ensayo de esfuerzo de corte paralelo a la fibra en probetas de madera encolada en tres elementos

ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA - PROBETAS DE MADERA ENCOLADA EN TRES ELEMENTOS									18/04/2018
1. PANEL FOTOGRAFICO									
Probetas de madera encolada y prensada de tres elementos		Inicio de ensayo de doble esfuerzo de corte.		Fin de ensayo de doble esfuerzo de corte		Estudio de tipo de fallas generadas en las probetas del ensayo de doble esfuerzo de corte.			
						<p>Falla simple</p> <p>en la línea de cola. Se da sólo en una cara de corte previamente encoladas</p>		<p>Falla doble</p> <p>en la línea de cola. Se da en las dos caras de corte previamente encoladas</p>	
2. ENSAYO DE DOBLE ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA									
COD. PROB.	Ancho de seccion (b)	Altura de seccion (h)	Area de seccion "A"	Carga máxima (P)	Doble Esf. de corte ($F_{b,cz,d}$)	Densidad Basica (DB)	Cont. de Hum. (CH)	TIPO DE FALLA	
	cm	cm	cm ²	kg	$F_{b,cz,d} = \frac{P}{2A}$ kg/cm ²	gr/cm ³	%		
CME-1	4.801	5.125	24.606	3380.35	68.69	0.50	9.95	Falla doble	
CME-2	4.854	5.070	24.609	3491.50	70.94	0.52	10.00	Falla simple	
CME-3	4.615	5.285	24.390	3086.68	63.28	0.48	10.63	Falla doble	
CME-4	4.823	5.270	25.415	3525.15	69.35	0.51	10.18	Falla simple	
CME-5	4.610	5.035	23.211	3202.92	68.99	0.45	10.68	Falla doble	
CME-6	4.898	5.150	25.222	3084.64	61.15	0.51	10.55	Falla simple	
CME-7	4.726	4.753	22.462	3531.27	78.61	0.49	11.03	Falla simple	
CME-8	4.778	5.075	24.246	3616.93	74.59	0.50	9.93	Falla simple	
CME-9	4.853	5.163	25.051	3764.79	75.14	0.46	9.83	Falla simple	
CME-10	4.870	5.030	24.496	3872.88	79.05	0.46	11.27	Falla doble	
GRÁFICO DE DOBLE ESFUERZO DE CORTE									
									
3. RESULTADOS OBTENIDOS									
DOBLE ESFUERZO DE CORTE PARALELO A FIBRA PROM. ($F_{b,cz,d}$) =					70.98 kg/cm ²				
ESFUERZO DE CORTE PARALELO A FIBRA PROM. ($F_{b,cz}$) =					35.49 kg/cm ²				
Varianza (s ²) =					35.72				
Desviacion Estandar (s) =					5.977				
Coeficiente de Variacion (CV) =					8.42				
4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS									
<p>Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo de doble esfuerzo de corte en probetas de madera encolada en tres elementos. Los datos obtenidos son :Cont. de Humedad, Densidad básica, ensayo de doble esfuerzo de corte, de donde se determina el esfuerzo de corte del pegamento 35.49 kg/cm²</p>									

ANEXO 31. Ensayo de esfuerzo de corte paralelo a la fibra en probetas de madera encolada en seis elementos

ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA - PROBETAS DE MADERA ENCOLADA EN SEIS ELEMENTOS										18/04/2018																								
1. PANEL FOTOGRAFICO																																		
Probetas de madera encolada de seis elementos		Inicio de ensayo de doble esfuerzo de corte.		Fin de ensayo de doble esfuerzo de corte.		Estudio de tipo de fallas generadas en las probetas del ensayo de doble esfuerzo de corte.																												
						<p>Falla simple</p> <p>en la línea de cola. Se da sólo en una cara de corte previamente encoladas</p>		<p>Falla doble</p> <p>en la línea de cola. Se da en las dos caras de corte previamente encoladas</p>		<p>Falla múltiple</p> <p>en las líneas de cola diferentes Se da en las dos caras de corte previamente encoladas</p>																								
2. ENSAYO DE DOBLE ESFUERZO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA																																		
COD. PROB.	Ancho de sección (b) cm	Altura de sección (h) cm	Área de sección "A" cm ²	Carga máxima (P) kg	Doble Esf. de corte (F _{b,cz,d}) kg/cm ² $F_{b,cz,d} = \frac{P}{2A}$	Densidad Básica (DB) gr/cm ³	Cont. de Hum. (CH) %	TIPO DE FALLA	GRÁFICO DE DOBLE ESFUERZO DE CORTE																									
CVL-1	4.895	4.993	24.438	3284.50	67.20	0.47	12.87	Falla simple	<table border="1"> <caption>Datos del Gráfico de Doble Esfuerzo de Corte</caption> <thead> <tr> <th>Código Probeta</th> <th>Doble Esfuerzo de Corte (kg/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CVL-1</td><td>67.20</td></tr> <tr><td>CVL-2</td><td>69.03</td></tr> <tr><td>CVL-3</td><td>70.06</td></tr> <tr><td>CVL-4</td><td>70.62</td></tr> <tr><td>CVL-5</td><td>64.83</td></tr> <tr><td>CVL-6</td><td>68.77</td></tr> <tr><td>CVL-7</td><td>77.22</td></tr> <tr><td>CVL-8</td><td>70.75</td></tr> <tr><td>CVL-9</td><td>63.03</td></tr> <tr><td>CVL-10</td><td>69.86</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>69.14</td></tr> </tbody> </table>		Código Probeta	Doble Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	CVL-1	67.20	CVL-2	69.03	CVL-3	70.06	CVL-4	70.62	CVL-5	64.83	CVL-6	68.77	CVL-7	77.22	CVL-8	70.75	CVL-9	63.03	CVL-10	69.86	Promedio	69.14
Código Probeta	Doble Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)																																	
CVL-1	67.20																																	
CVL-2	69.03																																	
CVL-3	70.06																																	
CVL-4	70.62																																	
CVL-5	64.83																																	
CVL-6	68.77																																	
CVL-7	77.22																																	
CVL-8	70.75																																	
CVL-9	63.03																																	
CVL-10	69.86																																	
Promedio	69.14																																	
CVL-2	4.890	5.045	24.670	3405.85	69.03	0.53	12.61	Falla múltiple																										
CVL-3	4.904	4.960	24.323	3407.89	70.06	0.47	12.73	Falla múltiple																										
CVL-4	4.906	4.890	23.992	3388.51	70.62	0.45	13.72	Falla doble																										
CVL-5	5.190	5.460	28.337	3674.03	64.83	0.47	13.72	Falla simple																										
CVL-6	5.243	5.523	28.952	3981.99	68.77	0.45	12.58	Falla simple																										
CVL-7	5.170	5.538	28.629	4421.48	77.22	0.44	12.37	Falla simple																										
CVL-8	5.158	5.535	28.547	4039.09	70.75	0.51	12.92	Falla simple																										
CVL-9	5.178	5.545	28.709	3618.97	63.03	0.48	13.12	Falla simple																										
CVL-10	5.245	5.495	28.821	4026.85	69.86	0.47	12.56	Falla simple																										
3. RESULTADOS OBTENIDOS					4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS																													
<p>DOBLE ESFUERZO DE CORTE PARALELO A FIBRA PROM. (F_{b,cz,d}) = 69.14 kg/cm²</p> <p>ESFUERZO DE CORTE PARALELO A FIBRA PROM. (F_{b,cz}) = 34.57 kg/cm²</p> <p>Varianza (s²) = 14.59</p> <p>Desviación Estándar (s) = 3.819</p> <p>Coefficiente de Variación (CV) = 5.52</p>					<p>Este cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo de doble esfuerzo de corte en probetas de madera encolada en tres elementos. Los datos obtenidos son :Cont. de Humedad, Densidad básica, ensayo de doble esfuerzo de corte, de donde se determina el esfuerzo de corte del pegamento 34.57 kg/cm²</p>																													

ANEXO 32. Clasificación de láminas para vigas rectas

CLASIFICACIÓN DE LÁMINAS PARA VIGAS RECTAS													12/01/2018		
DIMENSIONES DE LÁMINA PARA VIGA RECTA															
$L = 3.20 \text{ m}$ $b = 0.105 \text{ m}$ $e = 0.020 \text{ m}$															
L Á M I N A S	MAGNITUD DE NUDOS CONTENIDOS EN TRAMOS DE 300 mm												G R A D O		
	<i>Tramo I-6</i>	<i>Tramo I-5</i>	<i>Tramo I-4</i>	<i>Tramo I-3</i>	<i>Tramo I-2</i>	<i>Tramo I-1</i>	<i>Tramo D-1</i>	<i>Tramo D-2</i>	<i>Tramo D-3</i>	<i>Tramo D-4</i>	<i>Tramo D-5</i>	<i>Tramo D-6</i>			
	1.5m-1.6m	1.2m-1.5m	0.9m-1.2m	0.6m-0.9m	0.3m-0.6m	0-0.3m	0-0.3m	0.3m-0.6m	0.6m-0.9m	0.9m-1.2m	1.2m-1.5m	1.5m-1.6m			
	LR-1 <i>grado</i>	0.025 m <i>A</i>	0.019 m <i>A</i>	0.018 m <i>A</i>		0.038 m <i>B</i>	0.031 m <i>A</i>	0.020 m <i>A</i>	0.041 m <i>B</i>	0.025 m <i>A</i>	0.019 m <i>A</i>	0.019 m <i>A</i>			B
	LR-2 <i>grado</i>		0.017 m <i>A</i>	0.024 m <i>A</i>	0.017 m <i>A</i>	0.037 m <i>B</i>	0.018 m <i>A</i>	0.022 m <i>A</i>		0.018 m <i>A</i>	0.040 m <i>B</i>			0.021 m <i>A</i>	B
	LR-3 <i>grado</i>	0.020 m <i>A</i>	0.048 m <i>B</i>		0.015 m <i>A</i>	0.048 m <i>B</i>	0.032 m <i>A</i>	0.005 m <i>A</i>	0.037 m <i>B</i>	0.012 m <i>A</i>	0.021 m <i>A</i>				B
	LR-4 <i>grado</i>	0.021 m <i>A</i>	0.045 m <i>B</i>	0.020 m <i>A</i>		0.043 m <i>B</i>	0.039 m <i>B</i>	0.022 m <i>A</i>	0.027 m <i>A</i>	0.021 m <i>A</i>	0.050 m <i>B</i>				B
	LR-5 <i>grado</i>	0.050 m <i>B</i>	0.010 m <i>A</i>	0.051 m <i>B</i>		0.045 m <i>B</i>			0.025 m <i>A</i>	0.040 m <i>B</i>		0.030 m <i>A</i>		0.002 m <i>A</i>	B
	LR-6 <i>grado</i>			0.052 m <i>B</i>	0.045 m <i>B</i>	0.045 m <i>B</i>	0.045 m <i>B</i>	0.035 m <i>A</i>		0.052 m <i>B</i>	0.040 m <i>B</i>				B
LR-7 <i>grado</i>	0.066 m <i>No Estruct</i>	0.022 m <i>A</i>		0.023 m <i>A</i>	0.030 m <i>A</i>	0.065 m <i>No Estruct</i>	0.072 m <i>No Estruct</i>	0.037 m <i>B</i>	0.022 m <i>A</i>	0.085 m <i>No Estruct</i>			NE		
LR-8 <i>grado</i>		0.025 m <i>A</i>	0.020 m <i>A</i>	0.031 m <i>A</i>	0.029 m <i>A</i>	0.045 m <i>B</i>	0.022 m <i>A</i>	0.043 m <i>B</i>	0.025 m <i>A</i>		0.027 m <i>A</i>		B		
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS															
Del estudio resulta que el 87.5% de la muestra de madera usada en éste estudio pertenece al grado B, mientras que un 12.5% pertenece a una madera no estructural.															

ANEXO 33. Clasificación de láminas para vigas en arco

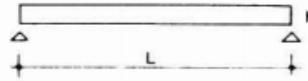
CLASIFICACIÓN DE LÁMINAS PARA VIGAS EN ARCO															12/01/2018			
		DIMENSIONES DE LÁMINA PARA VIGA EN ARCO																
		$L=$	3.80 m	$b=$	0.105 m	$e=$	0.020 m											
L Á M I N A S	MAGNITUD DE NUDOS CONTENIDOS EN TRAMOS DE 300 mm														G R A D O			
	Tramo I-7	Tramo I-6	Tramo I-5	Tramo I-4	Tramo I-3	Tramo I-2	Tramo I-1	Tramo D-1	Tramo D-2	Tramo D-3	Tramo D-4	Tramo D-5	Tramo D-6	Tramo D-7				
	1.8m-1.9m	1.5m-1.8m	1.2m-1.5m	0.9m-1.2m	0.6m-0.9m	0.3m-0.6m	0-0.3m	0-0.3m	0.3m-0.6m	0.6m-0.9m	0.9m-1.2m	1.2m-1.5m	1.5m-1.8m	1.8m-1.9m				
	LA-1			0.005 m		0.038 m		0.045 m			0.025 m	0.025 m	0.050 m	0.023 m			0.020 m	B
	grado			A		B		B			A	A	B	A			A	
	LA-2	0.005 m	0.037 m	0.025 m	0.040 m	0.030 m		0.040 m	0.030 m		0.042 m		0.025 m	0.016 m				B
	grado	A	B	A	B	A		B	A		B		A	A				
	LA-3	0.011 m		0.050 m		0.034 m		0.050 m		0.052 m	0.030 m		0.037 m			0.012 m		B
	grado	A		B		A		B		B	A		B			A		
LA-4		0.020 m	0.037 m		0.030 m		0.038 m		0.050 m	0.030 m		0.048 m	0.019 m			B		
grado		A	B		A		B		B	A		B	A					
LA-5	0.015 m		0.010 m	0.010 m		0.028 m	0.019 m		0.010 m	0.005 m	0.010 m	0.030 m	0.040 m			B		
grado	A		A	A		A	A		A	A	A	A	B					
LA-6	0.008 m	0.035 m	0.035 m		0.012 m		0.050 m		0.047 m	0.018 m			0.039 m	0.014 m		B		
grado	A	A	A		A		B		B	A			B	A				
LA-7	0.015 m		0.044 m		0.045 m		0.030 m		0.050 m		0.006 m		0.010 m			B		
grado	A		B		B		A		B		A		A					
LA-8	0.008 m	0.020 m		0.045 m		0.031 m		0.025 m		0.052 m		0.036 m	0.032 m	0.038 m		B		
grado	A	A		B		A		A		B		A	A	B				
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS																		
Del estudio resulta que el 100% de la muestra de madera usada en éste estudio pertenece al grado B.																		

ANEXO 34. Diseño de vigas laminadas encoladas rectas

DISEÑO DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS RECTAS - NCh 2165 of 91

1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Sistema Estático:



Tipo de estructura: Viga recta de sección constante

Pendiente apropiada en grados (f): $f = 0$

Altura máxima estructura (h): $h = \frac{L_l}{17}$

2. PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGA

Luz libre (L_l): De acuerdo a que se descuenta la longitud de los apoyos

$$L_l = 2.90 \text{ m} = 290.0 \text{ cm} = 2900.00 \text{ mm}$$

Pendiente apropiada o De acuerdo a la altura entre los apoyos y el piston del pórtico de flecha (f): ensayo y/o al cálculo de la flecha f

$$f = 0.00 \text{ m}$$

Longitud horizontal de De acuerdo a la longitud horizontal entre los apoyos del pórtico de viga (L): ensayo

$$L = 3.10 \text{ m} = 310.0 \text{ cm} = 3100.00 \text{ mm}$$

altura de viga (h): De acuerdo a Manual de Madera Laminada $h = L_l/17$

$$h = 2.9/17$$

$$h = 0.18 \text{ m} = 18.00 \text{ cm} = 180.00 \text{ mm}$$

ancho de viga (b): De acuerdo a las escuadrias comerciales según manual de Madera laminada.

$$b = 0.09 \text{ m} = 9.00 \text{ cm} = 90.00 \text{ mm}$$

Espesor de lámina (e): De acuerdo al espesor de las laminas para vigas en arco según manual de Madera laminada.

$$e = \frac{R}{180} \quad \text{Donde R es el radio de curvatura más interno o mínimo de laminas dobladas en la viga en arco.}$$

$$e = 3.445/180$$

$$e = 0.0191 \text{ m}$$

$$e = 0.0150 \text{ m} \quad \text{Elegido por ser mejor trabajable en el dobléz.}$$

Nº de laminas en viga (n): $n = h/e$

$$n = 0.18/0.015$$

$$n = 12 \text{ laminas}$$

3. CONDICIONES DE SERVICIO

Clasificación de láminas, grado: B

3.1 Propiedades geométricas de elemento estructural:

3.1.1 Momento de Inercia de sección Transversal de viga en función de X (I_x)

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_x = 9 \cdot (18^3)/12$$

$$I_x = 4374.00 \text{ cm}^4$$

3.1.2 Modulo de Flexión (W)

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$W = 9 \cdot (18^2)/6$$

$$W = 486.00 \text{ cm}^3$$

3.2 Esfuerzos básicos o de ensayo:

3.2.1 Esfuerzo básico en flexión ($F_{b,f}$)

$$F_{b,f} = 226.090 \text{ Kg/cm}^2$$

3.2.2 Esfuerzo básico de cizalla o corte ($F_{b,cz}$)

$$F_{b,cz} = 42.66 \text{ Kg/cm}^2$$

3.2.3 Módulo de elasticidad ($E_{L,b}$)

$$E_{L,b} = 43169.910 \text{ Kg/cm}^2$$

3.3 Propiedades básicas físicas de ensayo:

3.3.1 Contenido de Humedad de servicio, calculado en ensayo(CHs)

$$CHs = 10.70 \%$$

3.3.2 Densidad básica de vigas de madera laminada, calculado en ensayo(DB_{VR})

$$DB_{VR} = 478.320 \text{ kg/m}^3$$

3.4 Solicitaciones:

3.4.1 Consideraciones de solicitaciones

Duración de carga en años (t) = 10 años

Distancia entre vigas(Dv) = 1.00 m

Carga adicional por entablado (Q_e) = 20.00 Kg/m²

Sobrecarga para uso de vivienda unifamiliar (Q_v) = 100.00 Kg/m²

3.4.2 Cargas Permanentes (CM)

3.4.2.1 Carga por peso propio (W_{pp})

$$W_{pp} = DB_{VR} \cdot b \cdot h$$

$$W_{pp} = 478.32 \cdot (0.09) \cdot (0.18)$$

$$W_{pp} = 7.75 \text{ Kg/m}$$

3.4.2.2 Carga adicional por entablado (W_{ma})

$$W_{ma} = Q_e \cdot Dv$$

$$W_{ma} = 20 \cdot (1)$$

$$W_{ma} = 20.00 \text{ Kg/m}$$

3.4.3 Cargas Variables (CV)

3.4.3.1 Sobrecarga por uso para vivienda unifamiliar (W_{sc})

$$W_{sc} = Q_v \cdot Dv$$

$$W_{sc} = 100 \cdot (1)$$

$$W_{sc} = 100.00 \text{ Kg/m}$$

3.4.4 Carga Total (W_t)

$$W_t = W_{pp} + W_{ma} + W_{vu}$$

$$W_t = 7.75 + 20 + 100$$

$$W_t = 127.75 \text{ Kg/m}$$

3.5 Cálculo de momentos

3.5.1 Momento máximo para carga total (M_{max_t})

$$M_{max_t} = \frac{W_t \cdot L^2}{8}$$

$$M_{max_t} = (127.75) \cdot (3.1^2) / 8$$

$$M_{max_t} = 153.46 \text{ Kg.m}$$

3.5.1 Momento máximo por sobrecarga total ($M_{max_{sc}}$)

$$M_{max_{sc}} = \frac{W_{sc} \cdot L^2}{8}$$

$$M_{max_{sc}} = (100) \cdot (3.1^2) / 8$$

$$M_{max_{sc}} = 120.13 \text{ Kg.m}$$

3.6 Cálculo de cortantes

3.6.1 Cortante máximo para carga total (V_{max_t})

$$V_{max_t} = \frac{W_t \cdot L}{2}$$

$$V_{max_t} = (127.75) \cdot (3.1) / 2$$

$$V_{max_t} = 198.01 \text{ Kg}$$

3.6.2 Cortante máximo para sobrecarga total ($V_{max_{sc}}$)

$$V_{max_{sc}} = \frac{W_{sc} \cdot L}{2}$$

$$V_{max_{sc}} = (100) \cdot (3.1) / 2$$

$$V_{max_{sc}} = 155.00 \text{ Kg}$$

4.. CÁLCULO DE DEFORMACIONES MÁXIMAS ADMISIBLES - NCh 2165 of 91

4.1 Deformación admisible para carga total

$$\Delta_t = L/360 = 310/300 = 1.033 \text{ cm}$$

4.1 Deformación admisible para sobrecarga total

$$\Delta_{tot.sc} = L/300 = 310/360 = 0.861 \text{ cm}$$

5.. CÁLCULO DE ESFUERZOS ADMISIBLES - NCh 2165 of 91

5.1 Esfuerzo admisible de flexión:

$$F_f = k \cdot RR_f \cdot F_{b,f}$$

5.1.1 Calculamos k , (obtenido de acuerdo a h asumido)

$$k = 0.85$$

5.1.2 Esfuerzo básico en flexión (obtenido de ensayo)

$$F_{b,f} = 226.090 \text{ Kg/cm}^2$$

5.1.3 Razón de resistencia en flexión (Se obtiene siguiendo el anexo A)

$$RR_f = (1 + 3R_i) \cdot (1 - R_i)^3 \cdot (1 - R_i/2)$$

5.1.3.1 Calculamos R_i , (obtenido de Anexo A)

$$R_i = IK/IG = x_i + d_i \cdot \frac{(\sum_0^n Z^2)^{1/2}}{\sum_0^n Z}$$

5.1.3.1.1 Calculamos N , (obtenido del número de láminas n)

$$N = n/2$$

$$N = 6$$

5.1.3.1.2 Calculamos $\sum_0^n Z$; $\sum_0^n Z^2$; (obtenido de N)

$$\sum_0^n Z = 2N^3$$

$$\sum_0^n Z = 432$$

$$\sum_0^n Z^2 = 0.4 \cdot (N \cdot (9N^4 - 5N^2 + 1))$$

$$\sum_0^n Z^2 = 27564$$

5.1.3.1.3 Calculamos x_i ; d_i (obtenido de tabla 9)

$$x_i = 0.145$$

$$d_i = 0.695$$

∴ Luego se calcula R_i :

$$\Rightarrow R_i = IK/IG = x_i + d_i \cdot \frac{(\sum_0^n Z^2)^{1/2}}{\sum_0^n Z}$$

$$R_i = 0.145 + 0.695 \cdot ((27564)^{0.5}) / 432$$

$$R_i = 0.41$$

∴ Seguidamente o se calcula RR_f :

$$\Rightarrow RR_f = (1 + 3R_i) \cdot (1 - R_i)^3 \cdot (1 - R_i/2)$$

$$RR_f = (1 + 3(0.41)) \cdot (1 - 0.41)^3 \cdot (1 - 0.41/2)$$

$$RR_f = 0.36 < 0.50$$

$$RR_f = 0.50$$

∴ Finalmente se calcula el Esfuerzo admisible de flexión:

$$F_f = k \cdot RR_f \cdot F_{b,f}$$
$$F_f = (0.85) \cdot (0.5) \cdot (226.09)$$
$$F_f = 96.088 \text{ Kg/cm}^2$$

5.2 Esfuerzo admisible en Cizalla o corte:

$$F_{CZ} = RR_{CZ} \cdot F_{b,CZ}$$

5.2.1 Razón de resistencia en cizalla

$$RR_{CZ} = 1$$

5.2.2 Esfuerzo básico en cizalla o corte, (obtenido de ensayo)

$$F_{b,CZ} = 42.660 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Finalmente se calcula el esfuerzo admisible en cizalla:

$$F_{CZ} = RR_{CZ} \cdot F_{b,CZ}$$
$$F_{CZ} = (1) \cdot (42.66)$$
$$F_{CZ} = 42.660 \text{ Kg/cm}^2$$

5.3 Módulo de elasticidad admisible:

$$E_L = 0.95 \cdot E_{L,b} \text{ (MPa)}$$

5.3.1 Módulo de elasticidad, (obtenido de ensayo)

$$E_{L,b} = 43169.910 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Finalmente se calcula el modulo de elasticidad admisible:

$$E_L = 0.95 \cdot E_{L,b} \text{ (MPa)}$$
$$E_L = 0.95 \cdot (43169.91)$$
$$E_L = 41011.415 \text{ Kg/cm}^2$$

6. CÁLCULO DE ESFUERZOS DE DISEÑO - NCh 1198 of 2006

6.1 Esfuerzo de diseño de flexión:

$$F_{f,dis} = F_f \cdot K_{\text{modificación}}$$

6.1.1 Esfuerzo admisible en flexión, (obtenido del cálculo anterior)

$$F_f = 96.088 \text{ Kg/cm}^2$$

6.1.2 Factores de modificación

6.1.2.1 Calculamos Factor de modificación por contenido de humedad (K_H)

$$k_H = 1 - \Delta H \cdot \Delta R$$

6.1.2.1.1 Calculamos la diferencia entre el valor de Cont. Hum. de servicio (CHs) y contenido de Humedad de norma igual a 12%

$$\Delta H = CHs - 12$$

$$\Delta H = 10.7 - 12$$

$$\Delta H = -1.30 \%$$

6.1.2.1.1 Calculamos la variación de la resistencia por cada 1% de variación de contenido de humedad, (Anexo 37)

$$\Delta R = 0.0205$$

∴ Luego se calcula K_H :

$$\Rightarrow K_H = 1 - \Delta H \cdot \Delta R$$

$$K_H = 1 - (-1.3) \cdot (0.0205)$$

$$K_H = 1.027 > 1$$

$$\therefore K_H = 1.00$$

6.1.2.2 Calculamos Factor de modificación por duracion de carga (K_D)

(Obtenido de anexo 38)

Tiempo = 10 años Asumido

$$K_D = \frac{1.747}{t^{0.0464}} + 0.295$$

$$K_D = (1.747/(10.12.30.24.60.60)^{0.0464})+0.295$$

$$\therefore K_D = 1.00$$

6.1.2.3 Calculamos Factor de modificación por temperatura (K_T)

(Obtenido de anexo 39)

$$\therefore K_T = 1.00 \quad \text{No habran grandes variaciones de temperatura.}$$

6.1.2.4 Calculamos Factor de modificación por tratamiento químico (K_Q)

(Obtenido de anexo 40)

$$\therefore K_Q = 1.00 \quad \text{No se hizo tratamiento químico}$$

6.1.2.5 Calculamos Factor de modificación por volcamiento ($K_{\lambda V}$)

$$\text{Si } h/b \leq 2 \Rightarrow K_{\lambda} = 1.00$$

$$h/b = 0.18/0.09$$

$$h/b = 2$$

$$\therefore K_{\lambda V} = 1.00$$

6.1.2.6 Calculamos Factor de modificación por volumen (K_V), solo para esf, flexión

$$K_V = \left(\frac{6.40}{L}\right)^{\frac{1}{10}} \cdot \left(\frac{300}{h}\right)^{\frac{1}{10}} \cdot \left(\frac{135}{b}\right)^{\frac{1}{10}} \leq 1.0$$

$$K_V = ((6.40/3.1)^{1/10}) \cdot ((300/180)^{1/10}) \cdot ((135/90)^{1/10}) \leq 1$$

$$K_V = 1.18 > 1$$

$$\therefore K_V = 1.00$$

6.1.2.7 Calculamos Factor de modificación por trabajo conjunto (K_C)

$$\text{Si } D_v \leq 610 \text{ mm} \Rightarrow K_C = 1.15$$

$$D_v = 1.00 \text{ m} = 100.0 \text{ cm} = 1000.00 \text{ mm}$$

$$\therefore K_C = 1.00$$

6.1.2.8 Calculamos Factor de modificación por altura (K_{hf})

$$\text{Si } h \leq 300 \text{ mm} \Rightarrow K_{hf} = 1.00$$

$$h = 0.18 \text{ m} = 18.00 \text{ cm} = 180.00 \text{ mm}$$

$$\therefore K_{hf} = 1.00$$

∴ Finalmente se calcula el Esfuerzo de diseño de flexión:

$$F_{f,dis} = F_f \cdot K_{modificación}$$

En la zona flexo-traccionada

$$F_{ft,dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_T \cdot K_Q \cdot K_V \cdot K_C \cdot K_{hf}$$

$$F_{ft,dis} = 96.08825 \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1)$$

$$\therefore F_{ft,dis} = 96.09 \text{ Kg/cm}^2$$

En la zona flexo-comprimida

$$F_{fv,dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_T \cdot K_Q \cdot K_V \cdot K_C \cdot K_{\lambda V}$$

$$F_{fv,dis} = 96.08825 \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1)$$

$$\therefore F_{fv,dis} = 96.09 \text{ Kg/cm}^2$$

6.2 Esfuerzo de diseño en Cizalla o corte:

$$F_{cz,dis} = F_{b,cz} \cdot K_{modificación}$$

$$F_{cz,dis} = F_{b,cz} \cdot K_H \cdot K_D$$

$$F_{cz,dis} = 42.66 \cdot (1) \cdot (1)$$

$$\therefore F_{cz,dis} = 42.66 \text{ Kg/cm}^2$$

7. CÁLCULO DE DEFORMACIONES DE DISEÑO - NCh 1198 of 2006

7.1 Deformaciones por carga Total:

7.1.1 Deformación instantanea por flexión (δ_{inst})

$$\delta_{inst} = \frac{5 \cdot q_t \cdot L^4}{384 \cdot E_{adm} \cdot I}$$

$$\delta_{inst} = \frac{5.(127.75/100).(310^4)}{384.(41011.4145).(4374)}$$

$$\delta_{inst} = 0.856 \text{ cm}$$

7.1.2 Deformación total por corte (δ_Q)

$$\delta_Q = \frac{1.2M}{G.A}$$

7.1.2.1 Verificamos relación

$$L/h < 20$$

$$310/18 < 20$$

$$17.22 < 20 \text{ Verificar la flecha, deformación por corte } \delta_Q$$

7.1.2.2 Claculamos Módulo de corte (G)

$$G = \frac{E_f}{15}$$

$$G = 43169.91/15$$

$$G = 2877.99 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Seguidamente se calcula δ_Q

$$\delta_Q = \frac{1.2M}{G.A}$$

$$\delta_Q = \frac{1.2(153.46)}{(2877.99)(9)(18)}$$

$$\delta_Q = 0.000395 \text{ m}$$

$$\delta_Q = 0.039 \text{ cm}$$

7.1.3 Deformación por carga total (δ_{tot})

$$\delta_{tot} = \delta_{inst} + \delta_Q$$

$$\delta_{tot} = 0.856 + 0.039$$

$$\delta_{tot} = 0.895 \text{ cm}$$

7.2 Deformaciones por Sobre carga:

7.2.1 Deformación instantanea por flexión (δ_{inst})

$$\delta_{inst} = \frac{5.q_t.L^4}{384.E_{adm}.I}$$

$$\delta_{inst} = \frac{5.(100/100).(310^4)}{384.(41011.4145).(4374)}$$

$$\delta_{inst} = 0.670 \text{ cm}$$

7.2.2 Deformación total por corte (δ_Q)

$$\delta_Q = \frac{1.2M}{G.A}$$

$$\delta_Q = \frac{1.2(120.125)}{(2877.99)(9)(18)}$$

$$\delta_Q = 0.000309 \text{ m}$$

$$\delta_Q = 0.031 \text{ cm}$$

7.2.3 Deformación total por sobrecarga ($\delta_{tot.sc}$)

$$\delta_{tot.sc} = \delta_{inst} + \delta_Q$$

$$\delta_{tot.sc} = 0.67 + 0.031$$

$$\delta_{tot.sc} = 0.701 \text{ cm}$$

8. CÁLCULO DE ESFUERZOS DE TRABAJO- NCh 1198 of 2006

8.1 Esfuerzo de trabajo en flexión (f_f):

$$f_f = \frac{M_{max}}{W_m}$$

$$f_f = \frac{153.46(100)}{486}$$

$$f_f = 31.58 \text{ Kg/cm}^2$$

8.2 Esfuerzo de trabajo en cizalla (f_{cz}):

$$f_{cz} = \frac{1.5Q}{b.h}$$

$$f_{cz} = \frac{1.5(198.01)}{(9)(18)}$$

$$f_{cz} = 1.830 \text{ Kg/cm}^2$$

9. VERIFICACIÓN DE CONDICIONES DE DISEÑO - NCh 1198 of 2006

9.1 Verificación de esfuerzo de trabajo en flexión / esfuerzo de diseño en flexión:

$$\frac{f_f}{F_{f.dis}} < 1$$

$$\frac{31.58}{96.09} < 1$$

$$0.33 \text{ m} < 1 \quad \text{OK}$$

9.2 Verificación de esfuerzo de trabajo en cizalla / esfuerzo de diseño en cizalla:

$$\frac{f_{cz}}{F_{cz.dis}} < 1$$

$$\frac{1.83}{42.66} < 1$$

$$0.04 \text{ m} < 1 \quad \text{OK}$$

9.3 Verificación de la deformación carga total / deformación admisible por carga total:

$$\frac{\delta_{tot}}{\Delta_t} < 1$$

$$\frac{0.895}{1.0333} < 1$$

$$0.87 \text{ m} < 1 \quad \text{OK}$$

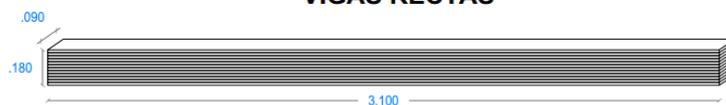
9.4 Verificación de la deformación sobrecarga total / deformación admisible por sobrecarga total:

$$\frac{\delta_{tot.sc}}{\Delta_{tot.sc}} < 1$$

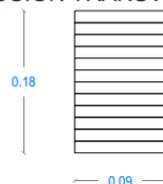
$$\frac{0.701}{0.8611} < 1$$

$$0.81 \text{ m} < 1 \quad \text{OK}$$

VIGAS RECTAS



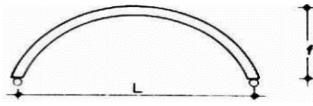
SECCION TRANSVERSAL DE VIGA



DISEÑO DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS EN ARCO - NCh 2165 of 91

1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Sistema Estático:



Tipo de estructura: Viga en arco o curva de tipo bi-articulada.

Pendiente apropiada en grados: $f = 0.135L_1$

Altura máxima estructura (h): $h = \frac{L_1}{50}$ Se trabaja con $h = L_1/17$, igual que para viga recta

2. PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGA

Luz libre (L_1): De acuerdo a que se descuenta la longitud de los apoyos

$$L_1 = 2.90 \text{ m} = 290.0 \text{ cm} = 2900.00 \text{ mm}$$

Pendiente apropiada o flecha (f): f_{externo} se asume de acuerdo al cálculo de la flecha $f = 0.135L_1$ y a la altura entre los apoyos y el piston del pórtico de ensayo, f_{interno} se calcula restando h

$$f = 0.135(2.9) = 0.39 \text{ m}$$

$$f_{\text{externo}} = 0.50 \text{ m} = 50.0 \text{ cm} = 500.00 \text{ mm}$$

$$f_{\text{interno}} = 0.32 \text{ m} = 32.0 \text{ cm} = 320.00 \text{ mm}$$

$$f_{\text{medio}} = 0.41 \text{ m} = 41.0 \text{ cm} = 410.00 \text{ mm}$$

Radio de curvatura (R): R_{interno} se calcula de acuerdo al calculo geometrico en base a L y f_{interno} , R_{externo} se calcula sumando h a R_{interno}

$$R_{\text{interno}} = 3.445 \text{ m} = 344.5 \text{ cm} = 3445.00 \text{ mm}$$

$$R_{\text{externo}} = 3.625 \text{ m} = 362.5 \text{ cm} = 3625.00 \text{ mm}$$

$$R_{\text{medio}} = 3.535 \text{ m} = 353.5 \text{ cm} = 3535.00 \text{ mm}$$

Longitud curva de la viga (L_v): $L_{v_{\text{interno}}}$ Calculado con R_{interno} y angulo, $L_{v_{\text{externo}}}$ y $L_{v_{\text{medio}}}$ se calculan desde el dibujo de Auto Cad pues al cortarse los extremos para ser apoyos las longitudes calculadas no seran exactas.

$$L_{v_{\text{interno}}} = 2.993 \text{ m} = 299.3 \text{ cm} = 2993.00 \text{ mm}$$

$$L_{v_{\text{externo}}} = 3.203 \text{ m} = 320.3 \text{ cm} = 3203.20 \text{ mm}$$

$$L_{v_{\text{medio}}} = 3.209 \text{ m} = 320.9 \text{ cm} = 3209.10 \text{ mm}$$

Longitud horizontal de viga (L): De acuerdo a la longitud horizontal entre los apoyos del pórtico de ensayo

$$L = 3.100 \text{ m} = 310.0 \text{ cm} = 3100.00 \text{ mm}$$

altura de viga (h): De acuerdo a Manual de Madera Laminada $h=L_1/17$

$$h = 2.9/17$$

$$h = 0.18 \text{ m} = 18.00 \text{ cm} = 180.00 \text{ mm}$$

ancho de viga (b): De acuerdo a las escuadrias comerciales segun manual de Madera laminada.

$$b = 0.09 \text{ m} = 9.00 \text{ cm} = 90.00 \text{ mm}$$

Epesor de lamina (e): De acuerdo al espesor de las laminas para vigas en arco segun manual de Madera laminada.

$$e = \frac{R}{180} \quad \text{Donde R es el radio de curvatura mas interno o minimo de laminas dobladas en la viga en arco.}$$

$$e = 3.445/180$$

$$e = 0.0191 \text{ m}$$

$$e = 0.0150 \text{ m}$$

Elegido por ser mejor trabajable en el dobléz.

Nº de laminas en viga (n): $n=h/e$

$$n = 0.18/0.015$$

$$n = 12 \text{ laminas}$$

3. CONDICIONES DE SERVICIO

Clasificación de láminas, grado: B

3.1 Propiedades geométricas de elemento estructural:

3.1.1 Momento de Inercia de sección Transversal de viga en función de X (I_x)

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_x = 9 \cdot (18^3) / 12$$

$$I_x = 4374.00 \text{ cm}^4$$

3.1.2 Modulo de Flexión (W)

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$W = 9 \cdot (18^2) / 6$$

$$W = 486.00 \text{ cm}^3$$

3.2 Esfuerzos básicos o de ensayo:

3.2.1 Esfuerzo básico en flexión ($F_{b,f}$)

$$F_{b,f} = 226.090 \text{ Kg/cm}^2$$

3.2.2 Esfuerzo básico de cizalla o corte ($F_{b,cz}$)

$$F_{b,cz} = 42.66 \text{ Kg/cm}^2$$

3.2.3 Módulo de elasticidad ($E_{L,b}$)

$$E_{L,b} = 43169.910 \text{ Kg/cm}^2$$

3.3 Propiedades básicas físicas de ensayo:

3.3.1 Contenido de Humedad de servicio, calculado en ensayo(CHs)

$$CHs = 10.70 \%$$

3.3.2 Densidad básica de vigas de madera laminada, calculado en ensayo(DB VR)

$$DB_{VR} = 468.370 \text{ kg/m}^3$$

3.4 Solicitaciones:

3.4.1 Consideraciones de solicitaciones

Duración de carga en años (t) = 10 años

Distancia entre vigas(Dv) = 1.00 m

Carga adicional por entablado (Qe) = 20.00 Kg/m²

Sobrecarga para uso de vivienda unifamiliar (Qv) = 100.00 Kg/m²

3.4.2 Cargas Permanentes (CM)

3.4.2.1 Carga por peso propio (Wpp)

$$W_{pp} = DB_{VR} \cdot b \cdot h$$

$$W_{pp} = 468.37 \cdot (0.09) \cdot (0.18)$$

$$W_{pp} = 7.59 \text{ Kg/m}$$

3.4.2.2 Carga adicional por entablado (Wma)

$$W_{ma} = Q_e \cdot D_v$$

$$W_{ma} = 20 \cdot (1)$$

$$W_{ma} = 20.00 \text{ Kg/m}$$

3.4.3 Cargas Variables (CV)

3.4.3.1 Sobrecarga por uso para vivienda unifamiliar (Wsc)

$$W_{sc} = Q_v \cdot D_v$$

$$W_{sc} = 100 \cdot (1)$$

$$W_{sc} = 100.00 \text{ Kg/m}$$

3.4.4 Carga Total (Wt)

$$W_t = W_{pp} + W_{ma} + W_{vu}$$

$$W_t = 7.59 + 20 + 100$$

$$W_t = 127.59 \text{ Kg/m}$$

3.5 Cálculo de momentos

3.5.1 Momento máximo para carga total (M_{max_t})

$$M_{max_t} = \frac{W_t \cdot L^2}{8}$$

$$M_{max_t} = (127.59) \cdot (3.1^2) / 8$$

$$M_{max_t} = 153.27 \text{ Kg.m}$$

3.5.1 Momento máximo por sobrecarga total ($M_{max_{sc}}$)

$$M_{max_{sc}} = \frac{W_{sc} \cdot L^2}{8}$$

$$M_{max_{sc}} = (100) \cdot (3.1^2) / 8$$

$$M_{max_{sc}} = 120.13 \text{ Kg.m}$$

3.6 Cálculo de cortantes

3.6.1 Cortante máximo para carga total (V_{max_t})

$$V_{max_t} = \frac{W_t \cdot L}{2}$$

$$V_{max_t} = (127.59) \cdot (3.1) / 2$$

$$V_{max_t} = 197.76 \text{ Kg}$$

3.6.2 Cortante máximo para sobrecarga total ($V_{max_{sc}}$)

$$V_{max_{sc}} = \frac{W_{sc} \cdot L}{2}$$

$$V_{max_{sc}} = (100) \cdot (3.1) / 2$$

$$V_{max_{sc}} = 155.00 \text{ Kg}$$

4.. CÁLCULO DE DEFORMACIONES MÁXIMAS ADMISIBLES - NCh 2165 of 91

4.1 Deformación admisible para carga total

$$\Delta_t = L/360 = 310/300 = 1.033 \text{ cm}$$

4.1 Deformación admisible para sobrecarga total

$$\Delta_{tot.sc} = L/300 = 310/360 = 0.861 \text{ cm}$$

5.. CÁLCULO DE ESFUERZOS ADMISIBLES - NCh 2165 of 91

5.1 Esfuerzo admisible de flexión:

$$F_f = k \cdot RR_f \cdot F_{b,f}$$

5.1.1 Calculamos k , (obtenido de acuerdo a h asumido)

$$k = 0.85$$

5.1.2 Esfuerzo básico en flexión (obtenido de ensayo)

$$F_{b,f} = 226.090 \text{ Kg/cm}^2$$

5.1.3 Razón de resistencia en flexión

$$RR_f = (1 + 3R_i) \cdot (1 - R_i)^3 \cdot (1 - R_i/2)$$

5.1.3.1 Calculamos R_i

$$R_i = IK/IG = x_i + d_i \cdot \frac{(\sum_0^n Z^2)^{1/2}}{\sum_0^n Z}$$

5.1.3.1.1 Calculamos N , (obtenido del número de láminas n)

$$N = n/2$$

$$N = 6$$

5.1.3.1.2 Calculamos $\sum_0^n Z$; $\sum_0^n Z^2$; (obtenido de N)

$$\sum_0^n Z = 2N^3$$

$$\sum_0^n Z = 432$$

$$\sum_0^n Z^2 = 0.4 \cdot (N \cdot (9N^4 - 5N^2 + 1))$$

$$\sum_0^n Z^2 = 27564$$

5.1.3.1.3 Calculamos x_i ; d_i (obtenido de tabla 8)

$$x_i = 0.145$$

$$d_i = 0.695$$

∴ Luego se calcula R_i :

$$\Rightarrow R_i = IK/IG = x_i + d_i \cdot \frac{(\sum_0^n Z^2)^{1/2}}{\sum_0^n Z}$$

$$R_i = 0.145 + 0.695((27564)^{0.5})/432$$

$$R_i = 0.41$$

∴ Seguidamente o se calcula RR_f :

$$\Rightarrow RR_f = (1 + 3R_i) \cdot (1 - R_i)^3 \cdot (1 - R_i/2)$$

$$RR_f = (1 + 3(0.41)) \cdot (1 - 0.41)^3 \cdot (1 - 0.41/2)$$

$$RR_f = 0.36 < 0.50$$

$$RR_f = 0.50$$

∴ Finalmente se calcula el Esfuerzo admisible de flexión:

$$F_f = k \cdot RR_f \cdot F_{b,f}$$

$$F_f = (0.85) \cdot (0.5) \cdot (226.09)$$

$$F_f = 96.088 \text{ Kg/cm}^2$$

5.2 Esfuerzo admisible en Cizalla o corte:

$$F_{cz} = RR_{cz} \cdot F_{b,cz}$$

5.2.1 Razón de resistencia en cizalla

$$RR_{cz} = 1$$

5.2.2 Esfuerzo básico en cizalla o corte, (obtenido de ensayo)

$$F_{b,cz} = 42.660 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Finalmente se calcula el esfuerzo admisible en cizalla:

$$F_{cz} = RR_{cz} \cdot F_{b,cz}$$

$$F_{cz} = (1) \cdot (42.66)$$

$$F_{cz} = 42.660 \text{ Kg/cm}^2$$

5.3 Módulo de elasticidad admisible:

$$E_L = 0.95 \cdot E_{L,b} \text{ (MPa)}$$

5.3.1 Módulo de elasticidad, (obtenido de ensayo)

$$E_{L,b} = 43169.910 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Finalmente se calcula el modulo de elasticidad admisible:

$$E_L = 0.95 \cdot E_{L,b} \text{ (MPa)}$$

$$E_L = 0.95 \cdot (43169.91)$$

$$E_L = 41011.415 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo Nomal Radial en el Apice

5.4 Esfuerzo admisible en tracción normal radial:

5.4.1 Esfuerzo básico tracción normal (obtenido de tabla 8)

$$F_{b,tn} = 4.300 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Finalmente se calcula el esfuerzo en tracción normal radial:

$$F_{tn} = 4.300 \text{ Kg/cm}^2$$

5.5 Esfuerzo admisible en compresion normal radial:

5.5.1 Esfuerzo básico compresión normal (obtenido de tabla 8)

$$F_{b,cn} = 28.200 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Finalmente se calcula el esfuerzo en compresión normal radial:

$$F_{cn} = 28.200 \text{ Kg/cm}^2$$

6. CÁLCULO DE ESFUERZOS DE DISEÑO - NCh 1198 of 2006

6.1 Esfuerzo de diseño de flexión:

$$F_{f,dis} = F_f \cdot K_{modificación}$$

6.1.1 Esfuerzo admisible en flexión, (obtenido del cálculo anterior)

$$F_f = 96.088 \text{ Kg/cm}^2$$

6.1.2 Factores de modificación

6.1.2.1 Calculamos Factor de modificación por contenido de humedad (K_H)

$$k_H = 1 - \Delta H \cdot \Delta R$$

6.1.2.1.1 Calculamos la diferencia entre el valor de Cont. Hum. de servicio (CHs) y contenido de Humedad de norma igual a 12%

$$\Delta H = CHs - 12$$

$$\Delta H = 10.7 - 12$$

$$\Delta H = -1.30 \%$$

6.1.2.1.1 Calculamos la variación de la resistencia por cada 1% de variación de contenido, (Anexo 39)

$$\Delta R = 0.0205$$

∴ Luego se calcula K_H :

$$\Rightarrow K_H = 1 - \Delta H \cdot \Delta R$$

$$K_H = 1 - (-1.3) \cdot (0.0205)$$

$$K_H = 1.027 > 1$$

$$\therefore K_H = 1.00$$

6.1.2.2 Calculamos Factor de modificación por duración de carga (K_D) (Obtenido de anexo 38)

$$\text{Tiempo} = 10 \text{ años} \quad \text{Asumido}$$

$$K_D = \frac{1.747}{t^{0.0464}} + 0.295$$

$$K_D = (1.747 / (10 \cdot 12 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)^{0.0464}) + 0.295$$

$$\therefore K_D = 1.00$$

6.1.2.3 Calculamos Factor de modificación por temperatura (K_T) (Obtenido de anexo 39)

$$\therefore K_T = 1.00 \quad \text{No habrán grandes variaciones de temperatura.}$$

6.1.2.4 Calculamos Factor de modificación por tratamiento químico (K_Q) (Obtenido de anexo 40)

$$\therefore K_Q = 1.00 \quad \text{No se hizo tratamiento químico}$$

6.1.2.5 Calculamos Factor de modificación por volcamiento ($K_{\lambda V}$)

$$\text{Si } h/b \leq 2 \Rightarrow K_{\lambda} = 1.00$$

$$h/b = 0.18/0.09$$

$$h/b = 2$$

$$\therefore K_{\lambda V} = 1.00$$

6.1.2.6 Calculamos Factor de modificación por volumen (K_V), solo para esf, flexión

$$K_V = \left(\frac{6.40}{L}\right)^{\frac{1}{10}} \cdot \left(\frac{300}{h}\right)^{\frac{1}{10}} \cdot \left(\frac{135}{b}\right)^{\frac{1}{10}} \leq 1.0$$

$$K_V = ((6.40/3.1)^{1/10}) \cdot ((300/180)^{1/10}) \cdot ((135/90)^{1/10}) \leq 1$$

$$K_V = 1.18 > 1$$

$$\therefore K_V = 1.00$$

6.1.2.7 Calculamos Factor de modificación por trabajo conjunto (K_C)

$$\text{Si } D_v \leq 610 \text{ mm} \Rightarrow K_C = 1.15$$

$$D_v = 1.00 \text{ m} = 100.0 \text{ cm} = 1000.00 \text{ mm}$$

$$\therefore K_C = 1.00$$

6.1.2.8 Calculamos Factor de modificación por altura (K_{hf})

$$\text{Si } h \leq 300 \text{ mm} \Rightarrow K_{hf} = 1.00$$

$$h = 0.18 \text{ m} = 18.00 \text{ cm} = 180.00 \text{ mm}$$

$$\therefore K_{hf} = 1.00$$

6.1.2.9 Calculamos Factor de modificación por curvatura (K_{cl})

$$K_{cl} = 1 - 2000\left(\frac{e}{R}\right)^2$$

$$K_{cl} = 1 - 2000(0.015/3.445)^2 \leq 1$$

$$K_{cl} = 0.96 < 1$$

$$\therefore K_{cl} = 0.96$$

∴ Finalmente se calcula el Esfuerzo de diseño de flexión:

$$F_{f,dis} = F_f \cdot K_{modificación}$$

En la zona flexo-traccionada

$$F_{ft,dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_T \cdot K_Q \cdot K_V \cdot K_C \cdot K_{hf} \cdot K_{cl}$$

$$F_{ft,dis} = 96.08825 \cdot (1) \cdot (0.96)$$

$$\therefore F_{ft,dis} = 92.24 \text{ Kg/cm}^2$$

En la zona flexo-comprimida

$$F_{fv,dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_T \cdot K_Q \cdot K_V \cdot K_C \cdot K_{\lambda V} \cdot K_{cl}$$

$$F_{fv,dis} = 96.08825 \cdot (1) \cdot (0.96)$$

$$\therefore F_{fv,dis} = 92.24 \text{ Kg/cm}^2$$

6.2 Esfuerzo de diseño en Cizalla o corte:

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \cdot K_{modificación}$$

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \cdot K_H \cdot K_D$$

$$F_{cz,dis} = 42.66 \cdot (1) \cdot (1)$$

$$\therefore F_{cz,dis} = 42.66 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo Normal Radial en el Apice

6.3 Esfuerzo de diseño en tracción normal radial:

$$F_{tn,dis} = F_{tn} \cdot K_{modificación}$$

$$F_{tn,dis} = F_{tn} \cdot K_H \cdot K_D$$

$$F_{tn,dis} = 4.3 \cdot (1) \cdot (1)$$

$$\therefore F_{tn,dis} = 4.30 \text{ Kg/cm}^2$$

6.4 Esfuerzo de diseño en compresión normal radial:

$$F_{cn,dis} = F_{cn} \cdot K_{modificación}$$

$$F_{cn,dis} = F_{cn} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_{cn}$$

$$F_{cn,dis} = 28.2 \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1)$$

$$\therefore F_{cn,dis} = 28.20 \text{ Kg/cm}^2$$

7. CÁLCULO DE DEFORMACIONES DE DISEÑO - NCh 1198 of 2006

7.1 Deformaciones por carga Total:

7.1.1 Deformación instantánea por flexión (δ_{inst})

$$\delta_{inst} = \frac{5 \cdot q_t \cdot L^4}{384 \cdot E_{adm} \cdot I}$$

$$\delta_{inst} = \frac{5 \cdot (127.59/100) \cdot (310^4)}{384 \cdot (41011.4145) \cdot (4374)}$$

$$\delta_{inst} = 0.855 \text{ cm}$$

7.1.2 Deformación total por corte (δ_Q)

$$\delta_Q = \frac{1.2M}{G \cdot A}$$

7.1.2.1 Verificamos relación

$$L/h < 20$$

$$310/18 < 20$$

$$17.22 < 20 \text{ verificar la flecha, deformación por corte } \delta_Q$$

7.1.2.2 Calculamos Módulo de corte (G)

$$G = \frac{E_f}{15}$$

$$G = 43169.91/15$$

$$G = 2877.99 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Seguidamente se calcula δ_Q

$$\delta_Q = \frac{1.2M}{G \cdot A}$$

$$\delta_Q = \frac{1.2(153.27)}{(2877.99)(9)(18)}$$

$$\delta_Q = 0.000394 \text{ m}$$

$$\delta_Q = 0.039 \text{ cm}$$

7.1.3 Deformación por carga total (δ_{tot})

$$\delta_{tot} = \delta_{inst} + \delta_Q$$

$$\delta_{tot} = 0.855 + 0.039$$

$$\delta_{tot} = 0.894 \text{ cm}$$

7.2 Deformaciones por Sobre carga:

7.2.1 Deformación instantanea por flexión (δ_{inst})

$$\delta_{inst} = \frac{5 \cdot q_t \cdot L^4}{384 \cdot E_{adm} \cdot I}$$

$$\delta_{inst} = \frac{5 \cdot (100/100) \cdot (310^4)}{384 \cdot (41011.4145) \cdot (4374)}$$

$$\delta_{inst} = 0.582 \text{ cm}$$

7.2.2 Deformación total por corte (δ_Q)

$$\delta_Q = \frac{1.2M}{G \cdot A}$$

$$\delta_Q = \frac{1.2(120.125)}{(2877.99)(9)(18)}$$

$$\delta_Q = 0.000309 \text{ m}$$

$$\delta_Q = 0.031 \text{ cm}$$

7.2.3 Deformación total por sobrecarga ($\delta_{tot.sc}$)

$$\delta_{tot.sc} = \delta_{inst} + \delta_Q$$

$$\delta_{tot.sc} = 0.582 + 0.031$$

$$\delta_{tot.sc} = 0.613 \text{ cm}$$

8. CÁLCULO DE ESFUERZOS DE TRABAJO- NCh 1198 of 2006

8.1 Esfuerzo de trabajo en flexión (f_f):

$$f_f = \frac{M_{max}}{W_m}$$

$$f_f = \frac{153.27(100)}{486}$$

$$f_f = 31.537 \text{ Kg/cm}^2$$

8.2 Esfuerzo de trabajo en cizalla (f_{cz}):

$$f_{cz} = \frac{1.5Q}{b \cdot h}$$

$$f_{cz} = \frac{1.5(197.76)}{(9)(18)}$$

$$f_{cz} = 1.830 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo Nomal Radial en el Apice

8.3 Esfuerzo de trabajo en tracción normal radial ($f_{n,max}$):

$$f_{n,max} = K_r \frac{M_{max}}{W_m}$$

8.3.1 Calculamos el factor de modificación por tensión normal radial (K_r)

$$K_r = A + B \left(\frac{h_c}{R_m} \right) + C \left(\frac{h_c}{R_m} \right)^2$$

Diseño de una viga curva de sección constante

$$\Rightarrow \phi_t = 0$$

8.3.1.1 Calculamos R_m

$$R_m = R + h/2$$

$$R_m = 3.5350 \text{ m}$$

8.3.1.2 Calculamos A, B, C

$$A = 0.2 \operatorname{tg} \phi_t$$

$$A = 0$$

$$B = 0.25 - 1.5 \operatorname{tg} \phi_t + 2.6 \operatorname{tg}^2 \phi_t$$

$$B = 0.25$$

$$C = 2.1 \operatorname{tg} \phi_t - 4 \operatorname{tg}^2 \phi_t$$

$$C = 0$$

∴ Seguidamente se calcula K_r

$$K_r = A + B \left(\frac{h_c}{R_m} \right) + C \left(\frac{h_c}{R_m} \right)^2$$

$$K_r = 0 + 0.25(0.18/3.535) + 0(0.18/3.535)^2$$

$$K_r = 0.0127$$

∴ Esfuerzo de trabajo en tracción normal radial ($f_{n,max}$):

$$f_{n,max} = K_r \frac{M_{max}}{W_m}$$

$$f_{n,max} = 0.0127((100)153.27/486)$$

$$f_{n,max} = 0.401 \text{ Kg/cm}^2$$

Flexión en el Apice

8.4 Esfuerzo de flexion de trabajo en el ápice ($f_{f,max}$):

$$f_{f,max} = K_\theta \frac{M_{max}}{W_m}$$

8.4.1 Calculamos el factor de modificación por tensión normal radial (K_θ)

$$K_\theta = D + E \left(\frac{h_m}{R_m} \right) + F \left(\frac{h_m}{R_m} \right)^2 + G \left(\frac{h_m}{R_m} \right)^3$$

Diseño de una viga curva de sección constante

$$\Rightarrow \phi_t = 0$$

8.4.1.1 Calculamos R_m

$$R_m = R + h/2$$

$$R_m = 3.5350 \text{ m}$$

8.4.1.2 Calculamos D, E, F, G

$$D = 1 + 1.4 \operatorname{tg} \phi_t + 5.4 \operatorname{tg}^2 \phi_t$$

$$D = 1$$

$$E = 0.35 - 8 \operatorname{tg} \phi_t$$

$$E = 0.35$$

$$F = 0.6 + 8.3 \operatorname{tg} \phi_t - 7.8 \operatorname{tg}^2 \phi_t$$

$$F = 0.6$$

$$G = 6 \operatorname{tg}^2 \phi_t$$

$$G = 0$$

∴ Seguidamente se calcula K_r

$$K_\theta = D + E \left(\frac{h_m}{R_m} \right) + F \left(\frac{h_m}{R_m} \right)^2 + G \left(\frac{h_m}{R_m} \right)^3$$

$$K_\theta = 1 + 0.35(0.18/3.535) + 0.6(0.18/3.535)^2 + 0(0.18/3.535)^3$$

$$K_\theta = 1.0194$$

∴ Esfuerzo de flexión de trabajo en el ápice ($f_{f,max}$):

$$f_{f,max} = K_\theta \frac{M_{max}}{W_m}$$

$$f_{f,max} = 1.0194((100)153.27/486)$$

$$f_{f,max} = 32.149 \text{ Kg/cm}^2$$

Flexión en el punto con esfuerzo de flexión máximo

8.5 Esfuerzo en el punto de flexión máximo ($f_{f,x}$):

$$f_{f,x} = \frac{6 \cdot M_{max}}{b \cdot h_x^2}$$

Diseño de una viga curva de sección constante

$$\Rightarrow \phi_t = 0 \quad ; \quad \theta = 0 \quad ; \quad h_e = 0.18 \text{ m} \dots h \text{ en los apoyos}$$

8.5.1 Calculamos la distancia horizontal desde el apoyo hasta un pto de la viga (x_m)

$$x_m = \frac{L \cdot h_e \cdot \cos^2 \theta}{(L \cdot \text{Tg}(\phi_t - \theta) + 2 \cdot h_e \cdot \cos^2 \theta)}$$

$$x_m = \frac{3.1(0.18)(\text{Cos } 0)^2}{3.1(\text{Tg } (0-0) + 2(0.18)(\text{Cos } 0)^2)}$$

$$x_m = 1.55 \text{ m}$$

8.5.2 Calculamos la altura en el punto con esfuerzo máximo (h_x)

$$h_x = h_e \cdot \text{Cos} \theta + \left(\frac{x_m \cdot \text{Tg}(\phi_t - \theta)}{\text{Cos} \theta} \right)$$

$$h_x = 0.18 \text{ Cos } 0 + \frac{1.55 \text{ Tg}(0-0)}{\text{Cos } (0)}$$

$$h_x = 0.18 \text{ m} = 18.00 \text{ cm} = 180.00 \text{ mm}$$

8.5.3 Calculamos el momento en el punto con esfuerzo máximo (M_x)

$$M_x = 0.5 q \cdot x_m (L - x_m)$$

$$M_x = 0.5(127.59)(1.55)(3.1-1.55)$$

$$M_x = 153.27 \text{ Kg.m}$$

∴ Esfuerzo en el punto de flexión máximo ($f_{f,x}$):

$$f_{f,x} = \frac{6 \cdot M_x}{b \cdot h_x^2}$$

$$f_{f,x} = 6(153.267)/((9)(18)^2)$$

$$f_{f,x} = 31.536 \text{ Kg/cm}^2$$

9. VERIFICACIÓN DE CONDICIONES DE DISEÑO - NCh 1198 of 2006

9.1 Verificación de esfuerzo de trabajo en flexión / esfuerzo de diseño en flexión:

$$\frac{f_f}{F_{f,dis}} < 1$$

$$\frac{31.537}{92.24} < 1$$

$$0.34 \text{ m} < 1 \quad \text{OK}$$

9.2 Verificación de esfuerzo de trabajo en cizalla / esfuerzo de diseño en cizalla:

$$\frac{f_{cz}}{F_{cz,dis}} < 1$$

$$\frac{1.83}{42.66} < 1$$

$$0.04 \text{ m} < 1 \quad \text{OK}$$

9.3 Verificación de la deformación carga total / deformación admisible por carga total:

$$\frac{\delta_{tot}}{\Delta_t} < 1$$
$$\frac{0.894}{1.0333} < 1$$
$$0.87 \text{ m} < 1 \quad OK$$

9.4 Verificación de la deformación sobrecarga total / deformación admisible por sobrecarga total:

$$\frac{\delta_{tot.sc}}{\Delta_{tot.sc}} < 1$$
$$\frac{0.613}{0.8611} < 1$$
$$0.71 \text{ m} < 1 \quad OK$$

Esfuerzo Nomal Radial en el Apice

9.5 Verificación de esfuerzo de trabajo en cizalla / esfuerzo de diseño en cizalla:

$$\frac{f_{n,max}}{F_{tn,dis}} < 1$$
$$\frac{0.401}{4.3} < 1$$
$$0.09 \text{ m} < 1 \quad OK$$

Flexión en el Apice

9.6 Verificación de Esfuerzo de flexion de trabajo en el ápice / Esfuerzo de diseño de flexión:

$$\frac{f_{f,max}}{F_{ft,dis}} < 1$$
$$\frac{32.149}{92.24} < 1$$
$$0.35 \text{ m} < 1 \quad OK$$

Flexión en el punto con esfuerzo de flexión máximo

9.7 Verificación del esfuerzo de trabajo en el punto de flexión máximo / Esfuerzo de diseño en el punto de flexión máximo:

$$\frac{f_{f,x}}{F_{ft,dis}} < 1$$
$$\frac{31.536}{92.24} < 1$$
$$0.34 \text{ m} < 1 \quad OK$$

Interacción de esfuerzos

9.8 Zona flexocomprimida:

$$\left(\frac{f_{f,max}}{F_{fv,max}}\right)^2 + \left(\frac{f_{cn}}{F_{cn,dis}}\right)^2 + \left(\frac{f_{cz}}{2.66F_{cz,dis}}\right)^2 \leq 1$$

$$f_{f,max} = f_{f,x} = 31.536 \text{ Kg/cm}^2$$
$$f_{cz} = f_{f,max} \cdot Tg^2 \phi_t = 0.000 \text{ Kg/cm}^2$$
$$f_{cn} = f_{f,max} \cdot Tg \phi_t = 0.000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{fv,dis} = 92.240 \text{ Kg/cm}^2$$
$$F_{cn,dis} = 28.200 \text{ Kg/cm}^2$$
$$F_{cz,dis} = 42.660 \text{ Kg/cm}^2$$

$$(31.536/92.24)^2 + (0/28.2)^2 + (0/(2.66(42.66)))^2 \leq 1$$

$$0.12 \leq 1 \quad \text{OK}$$

9.9 Zona flexotraccionada:

$$\left(\frac{f_{f,max}}{F_{ft,dis}}\right)^2 + \left(\frac{f_{tn,max}}{1.25F_{tn,dis}}\right)^2 + \left(\frac{f_{cz}}{1.33F_{cz,dis}}\right)^2 \leq 1$$

$$f_{f,max} = f_{f,x} = 31.536 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{cz} = f_{f,max} \cdot Tg^2\phi_t = 0.000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{tn} = f_{f,max} \cdot Tg\phi_t = 0.000 \text{ Kg/cm}^2$$

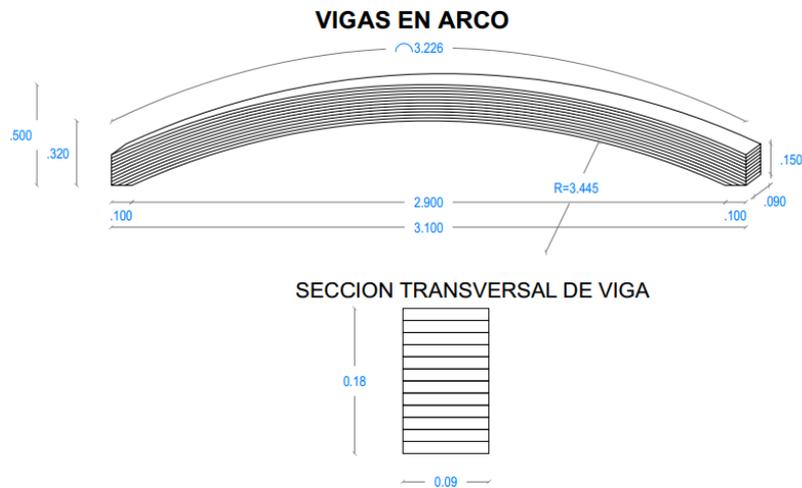
$$F_{ft,dis} = 92.240 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{tn,dis} = 4.300 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{cz,dis} = 42.660 \text{ Kg/cm}^2$$

$$(31.536/92.24)^2 + 0/(1.25(4.3))^2 + (0/(1.33(42.66)))^2 \leq 1$$

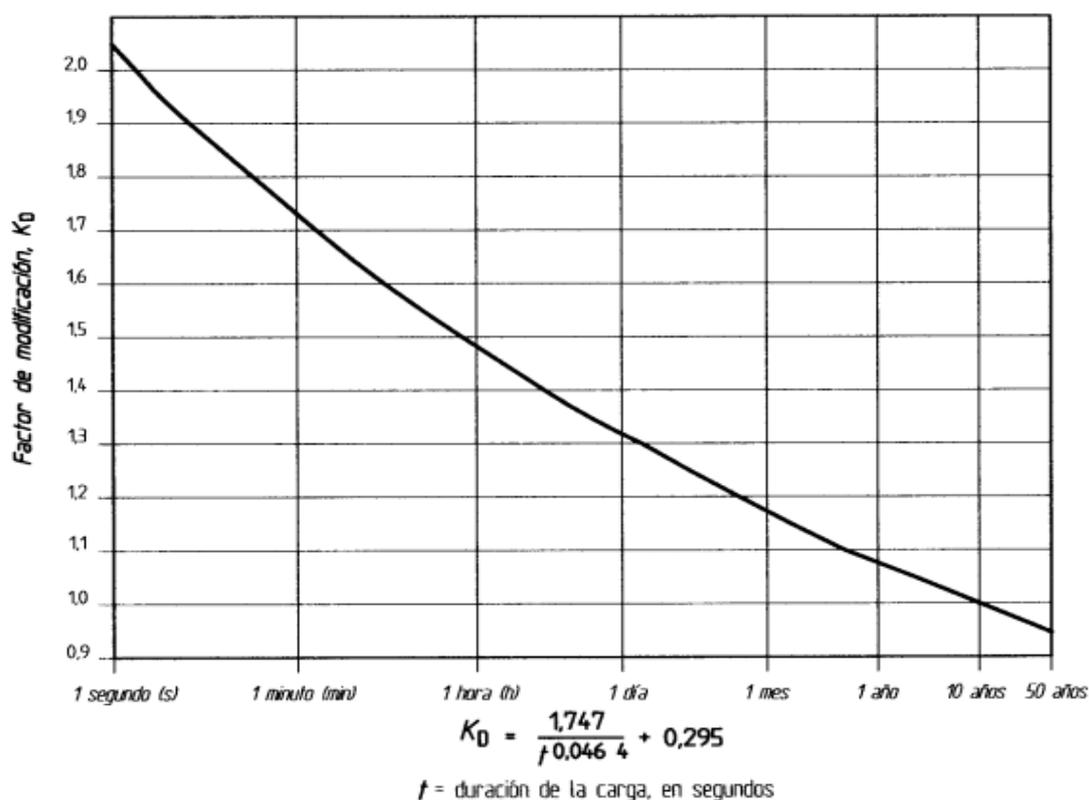
$$0.12 \leq 1 \quad \text{OK}$$



ANEXO 36. Variación de las propiedades resistentes para una variación del contenido de humedad igual a 1%

Tensión admisible o módulo elástico	Variación de la resistencia para $\Delta H - 1\%$	
	ΔR	
	Especies en general	Pino radiata
Flexión	0,020 5	0,025 0
Compresión paralela	0,020 5	0,048 0
Tracción paralela	0,020 5	0,025 0
Compresión normal	0,026 7	0,033 0
Cizalle	0,016 0	0,015 0
Módulo de elasticidad en flexión	0,014 8	0,017 0
Índice de aplastamiento en compresión normal $E_{cn,h}$	-	0,029 0

ANEXO 37. Factor de modificación por duración de la carga.



ANEXO 38. Factor de modificación por temperatura.

Efectos de la temperatura sobre la resistencia de la madera

H.1 Cuando la madera se enfría con respecto a una temperatura normal (20°C), su resistencia aumenta. Al ser calentada por sobre dicha temperatura normal, su resistencia disminuye. Este efecto térmico es inmediato y su magnitud depende del contenido de humedad de la madera. Hasta 67°C, el efecto inmediato es reversible, es decir, la pieza recuperará esencialmente la totalidad de su resistencia al reducirse la temperatura al nivel normal (20°C). Un calentamiento prolongado a temperaturas superiores a 67°C puede originar reducciones de resistencia permanentes.

H.2 Es posible que los elementos estructurales queden ocasionalmente expuestos a temperaturas elevadas. Sin embargo, para tales condiciones la humedad relativa es generalmente baja, lo que condiciona que el contenido de humedad de la madera sea igualmente bajo. El efecto inmediato de estas exposiciones periódicas a temperaturas elevadas resulta menos pronunciado debido a esta sequedad. Independientemente de los cambios de temperatura, las propiedades resistentes de la madera generalmente se incrementan al disminuir el contenido de humedad. En consideración a la neutralización recíproca de estos efectos se acepta que los valores de diseño establecidos en esta norma se apliquen a madera con temperatura no mayor que 50°C y calentamientos ocasionales de corta duración a temperaturas no mayor que 67°C.

H.3 Cuando las piezas estructurales de madera se enfrían a bajas temperaturas con contenido de humedad elevados o se calientan a temperaturas de hasta 67°C durante períodos de tiempo prolongados, se hace necesario modificar los valores de diseño establecidos en esta norma. Como una orientación para la aplicación de estos ajustes se puede recurrir a los factores promedio indicados en Tabla H.1

Tabla H.1 - Incremento o decremento de los valores de resistencia por cada 1°C de incremento o decremento de temperatura

Propiedad	Contenido de humedad	Incremento por enfriamiento bajo 20°C (no menor que -180°C)	Decremento por calentamiento sobre 20°C (no mayor que 67°C)
	%	C_t	C_t
Módulo de elasticidad	0	+ 0,000 7	- 0,000 7
	12	+ 0,002 7	- 0,003 8
Otras propiedades	0	+ 0,003 1	- 0,003 1
	12	+ 0,005 8	- 0,008 8

ANEXO 39. Factor de modificación por tratamiento químico.

Efectos de los tratamientos químicos sobre la resistencia de la madera

I.1 Los preservantes creosotados y el pentaclorofenol disueltos en aceites derivados del petróleo son prácticamente inertes a la madera y no tienen una influencia química que pueda afectar su resistencia.

I.2 Los preservantes hidrosolubles que contienen cromo, cobre, arsénico y amonio son reactivos con la madera. Ellos, potencialmente pueden dañar las propiedades resistentes de la madera y pueden causar la corrosión de los conectores metálicos. Pero, en los niveles de retención requeridos para proteger la madera en contacto con el suelo, su resistencia no es alterada con excepción de la carga máxima en flexión, las propiedades resistentes al impacto y de flexión dinámica, las cuales se reducen en una baja cantidad. Las altas retenciones que son necesarias para proteger la madera en aplicaciones marinas puede reducir la resistencia a la flexión en un 10% o más.

I.3 Otras reducciones en las propiedades mecánicas pueden ser observadas si el método de preservación y el posterior proceso de secado no es controlado dentro de límites aceptables.

Los factores que influyen el efecto del método de preservación sobre la resistencia son: la especie maderera, el tamaño y contenido de humedad de la madera preservada, la fuente de calor usada y su temperatura, la duración del período de calentamiento al acondicionar la madera para el tratamiento y la presión usada en la impregnación. El factor más importante de los enumerados es la severidad y la duración del calentamiento usado.

El efecto de la temperatura sobre la resistencia de la madera se incluye en Anexo H.

I.4 Cuando el método de preservación contempla incisiones en la madera para ayudar a la penetración del preservante o cuando se usan ignífugos aplicados con el método de vacío y presión, el factor de modificación por tratamiento químico se puede obtener de Tabla I.1.

Tabla I.1 Factor de modificación por tratamiento químico, K_Q

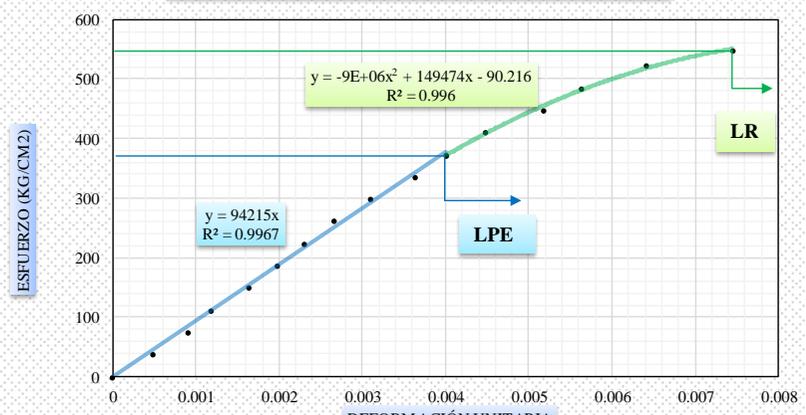
Para madera aserrada, previamente sometida a incisiones y cuyo espesor es 89 mm o menos			Para madera tratada con ignífugos mediante procesos de vacío y presión	
Condiciones en servicio	K_Q		K_Q	
	Para módulo de elasticidad	Para otras propiedades		
Verde	0,95	0,85	Madera aserrada	0,90
Seco	0,90	0,70	Postes	0,90
			Madera laminada	0,90

I.5 Se debe tener presente los efectos de los tratamientos con productos químicos ignífugos sobre las propiedades resistentes de la madera.

ANEXO 40. Flexión estática en viga laminada encolada recta 1

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS RECTAS					VIGA: VLR-1	21/02/2018
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 9.00 \text{ cm}$ $h = 18.00 \text{ cm}$			$L = 290.00 \text{ cm}$ $CH\% = 12.87\%$ $Densidad\ Basica = 0.471 \text{ gr/cm}^3$			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA </div>	
0	0	0	0	0		
1	250	0.25	37.294	0.000321		
2	500	0.52	74.588	0.000668		
3	750	0.85	111.883	0.001092		
4	1000	1.23	149.177	0.001580		
5	1250	1.48	186.471	0.001901		
6	1500	1.9	223.765	0.002440		
7	1750	2.35	261.060	0.003018		
8	2000	2.81	298.354	0.003609		
9	2250	3.41	335.648	0.004379		
10	2480	4.15	369.959	0.005329		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
			TRAMO 1	TRAMO 2		
			Esfuerzo en LPE (f_p)	223.765 Kg/cm ²	Esfuerzo máximo (f_r) 369.959 Kg/cm ²	
			Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.002440		
			Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_{ip}}$	91708.932 Kg/cm ²	Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.005329	
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA RECTA ENSAYADA				6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO		
		Tipo de falla (NTP 251.017) A Tensión Simple Falla por esfuerzo a tracción. La zona inf. de la viga genera tracción y la sup. aplastamiento. El comportamiento del material permite pasar a un estado inelástico con grandes deformaciones sin colapso súbito.				
Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga laminada recta (VLR-1). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 4.15 cm y carga máxima de rotura = 2480 kg						

ANEXO 41. Flexión estática en viga laminada encolada recta 2

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS RECTAS					VIGA: VLR-2	21/02/2018
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 9.00 \text{ cm}$ $h = 18.00 \text{ cm}$			$L = 290.00 \text{ cm}$ $CH\% = 12.61\%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.526 \text{ gr/cm}^3$			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	<div style="text-align: center;"> GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA </div> 	
0	0	0	0	0		
1	250	0.38	37.294	0.000488		
2	500	0.71	74.588	0.000912		
3	750	0.92	111.883	0.001181		
4	1000	1.28	149.177	0.001644		
5	1250	1.54	186.471	0.001978		
6	1500	1.79	223.765	0.002299		
7	1750	2.07	261.060	0.002658		
8	2000	2.41	298.354	0.003095		
9	2250	2.83	335.648	0.003634		
10	2500	3.12	372.942	0.004007		
11	2750	3.49	410.237	0.004482		
12	3000	4.03	447.531	0.005175		
13	3250	4.39	484.825	0.005638		
14	3500	5	522.119	0.006421		
15	3680	5.8	548.971	0.007448		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO					TRAMO 1	
					Esfuerzo en LPE (f_{lp})	372.942 Kg/cm ²
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.004007
					Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	93080.647 Kg/cm ²
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA RECTA ENSAYADA					TRAMO 2	
					Esfuerzo máximo (f_r)	548.971 Kg/cm ²
					Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.007448
6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO						
		Tipo de falla (NTP 251.017) A Tensión Simple Falla por esfuerzo a tracción. La zona inf. de la viga genera tracción y la sup. aplastamiento. El comportamiento del material permite pasar a un estado inelástico con grandes deformaciones sin colapso súbito.			Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga laminada recta (VLR-2). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 5.8 cm y carga máxima de rotura = 3680 kg	

ANEXO 43. Flexión estática en viga laminada encolada recta 4

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS RECTAS					VIGA: VLR-4	21/02/2018
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 9.00 \text{ cm}$ $h = 18.00 \text{ cm}$			$L = 290.00 \text{ cm}$ $CH\% = 13.72 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.453 \text{ gr/cm}^3$			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	Deformación Unitaria (Du) $Du = \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA	
0	0	0	0	0		
1	250	0.42	37.294	0.000539		
2	500	0.8	74.588	0.001027		
3	750	1.08	111.883	0.001387		
4	1000	1.43	149.177	0.001836		
5	1250	1.8	186.471	0.002312		
6	1500	2.1	223.765	0.002697		
7	1750	2.45	261.060	0.003146		
8	2000	2.9	298.354	0.003724		
9	2250	3.3	335.648	0.004238		
10	2500	3.83	372.942	0.004918		
11	2750	4.33	410.237	0.005561		
12	3000	4.8	447.531	0.006164		
13	3280	5.55	489.300	0.007127		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
			TRAMO 1		TRAMO 2	
			Esfuerzo en LPE (f_p) 335.648 Kg/cm2		Esfuerzo máximo (f_r) 489.300 Kg/cm2	
			Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE}) 0.004238		Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.007127	
			Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$ 79203.169 Kg/cm2			
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA RECTA ENSAYADA			6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO			
			<p>Tipo de falla (NTP 251.017) A Tensión Simple Falla por esfuerzo a tracción. La zona inf. de la viga genera tracción y la sup. aplastamiento. El comportamiento del material permite pasar a un estado inelástico con grandes deformaciones sin colapso súbito.</p>			
<p>Este cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga laminada recta (VLR-4). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 5.55 cm y carga máxima de rotura = 2850 kg</p>						

ANEXO 44. Flexión estática en viga laminada encolada recta 5

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS RECTAS					VIGA: VLR-5	21/02/2018
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 9.10 \text{ cm}$ $h = 18.10 \text{ cm}$ $L = 290.00 \text{ cm}$			$CH\% = 13.72 \%$ Densidad Basica = 0.470 gr/cm^3			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA 	
0	0	0	0	0		
1	250	0.35	36.478	0.000452		
2	500	0.73	72.956	0.000943		
3	750	1.05	109.434	0.001356		
4	1000	1.4	145.912	0.001808		
5	1250	1.85	182.390	0.002389		
6	1500	2.15	218.868	0.002776		
7	1750	2.65	255.346	0.003422		
8	2000	3	291.824	0.003874		
9	2250	3.55	328.302	0.004584		
10	2500	4.2	364.780	0.005424		
11	2750	4.55	401.258	0.005876		
12	3000	5.13	437.736	0.006624		
13	3250	6.15	474.214	0.007942		
14	3500	7.55	510.692	0.009749		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
			TRAMO 1		TRAMO 2	
			Esfuerzo en LPE (f_{lp}) 291.824 Kg/cm ²		Esfuerzo máximo (f_r) 510.692 Kg/cm ²	
			Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE}) 0.003874		Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.009749	
			Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$ 75329.594 Kg/cm ²			
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA RECTA ENSAYADA						
		Tipo de falla (NTP 251.017) A Tensión Simple Falla por esfuerzo a tracción. La zona inf. de la viga genera tracción y la sup. aplastamiento. El comportamiento del material permite pasar a un estado inelástico con grandes deformaciones sin colapso súbito.				
6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO						
Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga laminada recta (VLR-5). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 7.55 cm y carga máxima de rotura = 3500 kg						

ANEXO 45. Flexión estática en viga laminada encolada en arco 1

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS EN ARCO					VIGA: VLC-1	21/02/2018																
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS																		
$b = 9.00 \text{ cm}$ $L = 290.00 \text{ cm}$ $h = 18.40 \text{ cm}$				$CH\% = 12.58 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.451 \text{ gr/cm}^3$																		
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA																						
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{M(R-r)}{A \cdot r(\bar{r}-R)}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA 																	
0	0	0	0	0	4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TRAMO 1</th> <th colspan="2">TRAMO 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Esfuerzo en LPE (f_{lp})</td> <td>435.830 Kg/cm²</td> <td>Esfuerzo máximo (f_r)</td> <td>627.595 Kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})</td> <td>0.004726</td> <td>Deformación unitaria en LR (Du_{LR})</td> <td>0.007679</td> </tr> <tr> <td>Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$</td> <td>90626.828 Kg/cm²</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		TRAMO 1		TRAMO 2		Esfuerzo en LPE (f_{lp})	435.830 Kg/cm ²	Esfuerzo máximo (f_r)	627.595 Kg/cm ²	Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.004726	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.007679	Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	90626.828 Kg/cm ²		
TRAMO 1		TRAMO 2																				
Esfuerzo en LPE (f_{lp})	435.830 Kg/cm ²	Esfuerzo máximo (f_r)	627.595 Kg/cm ²																			
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.004726	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.007679																			
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	90626.828 Kg/cm ²																					
1	250	0.4	36.319	0.000525																		
2	500	0.7	72.638	0.000919																		
3	750	1	108.957	0.001313																		
4	1000	1.35	145.277	0.001772																		
5	1250	1.7	181.596	0.002232																		
6	1500	2	217.915	0.002625																		
7	1750	2.3	254.234	0.003019																		
8	2000	2.5	290.553	0.003282																		
9	2250	2.75	326.872	0.003610																		
10	2500	3	363.191	0.003938																		
11	2750	3.3	399.511	0.004332																		
12	3000	3.6	435.830	0.004726																		
13	3250	4.1	472.149	0.005382																		
14	3500	4.35	508.468	0.005710																		
15	3750	4.7	544.787	0.006170																		
16	4000	5.1	581.106	0.006695																		
17	4250	5.5	617.425	0.007220																		
18	4320	5.85	627.595	0.007679																		
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA EN ARCO ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO																	
		Tipo de falla (NTP 251.017) A Tensión Simple Falla por esfuerzo a tracción. La zona inf. de la viga genera tracción y la sup. aplastamiento notorio. El comportamiento del material permite pasar a un estado inelástico con grandes deformaciones sin colapso súbito.			Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga laminada recta (VLC-1). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 5.85 cm y carga máxima de rotura = 4320 kg																	

ANEXO 46. Flexión estática en viga laminada encolada en arco 2

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS EN ARCO					VIGA: VLC-2	21/02/2018				
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS							
$b = 9.00 \text{ cm}$ $h = 18.00 \text{ cm}$ $L = 290.00 \text{ cm}$			$CH\% = 12.37 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.440 \text{ gr/cm}^3$							
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA										
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{M(R-r)}{A.r(\bar{r}-R)}$ kg/cm2	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA					
					4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO					
								TRAMO 1	TRAMO 2	
								Esfuerzo en LPE (f_{lp})	Esfuerzo máximo (f_r) 714.735 Kg/cm2	
								Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.005394	
								Modulo de elasticidad (MOE)	Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.009375	
								$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	76060.186 Kg/cm2	
					5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA EN ARCO ENSAYADA					
							Tipo de falla (NTP 251.017) A Tensión Simple Falla por esfuerzo a tracción. La zona inf. de la viga genera tracción y la sup. aplastamiento notorio. El comportamiento del material permite pasar a un estado inelástico con grandes deformaciones sin colapso súbito.			
					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO					
					Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga laminada recta (VLC-2). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 7.3 cm y carga máxima de rotura = 4710 kg					

ANEXO 47. Flexión estática en viga laminada encolada en arco 3

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS EN ARCO					VIGA: VLC-3	21/02/2018		
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS					
$b = 9.00 \text{ cm}$ $h = 18.20 \text{ cm}$ $L = 290.00 \text{ cm}$			$CH\% = 12.92 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.506 \text{ gr/cm}^3$					
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA								
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{M(R-r)}{A \cdot r(\bar{r}-R)}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = \delta \times \delta \times h \times L^{-2}$	<p>GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA</p>			
0	0	0	0	0				
1	250	0.2	37.115	0.000260				
2	500	0.35	74.230	0.000454				
3	750	0.55	111.345	0.000714				
4	1000	0.75	148.459	0.000974				
5	1250	0.95	185.574	0.001234				
6	1500	1.2	222.689	0.001558				
7	1750	1.45	259.804	0.001883				
8	2000	1.7	296.919	0.002207				
9	2250	1.95	334.034	0.002532				
10	2500	2.15	371.148	0.002792				
11	2750	2.4	408.263	0.003116				
12	3000	2.6	445.378	0.003376				
13	3250	2.9	482.493	0.003766				
14	3500	3.05	519.608	0.003960				
15	3750	3.35	556.723	0.004350				
16	4000	3.6	593.837	0.004674				
17	4250	4	630.952	0.005194				
18	4500	4.45	668.067	0.005778				
19	4750	5.1	705.182	0.006622				
20	5000	5.5	742.297	0.007141				
21	5250	6.3	779.412	0.008180				
22	5500	7.2	816.526	0.009349				
23	5620	7.5	834.342	0.009738				
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA EN ARCO ENSAYADA					4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO			
<p>Tipo de falla (NTP 251.017) A Tensión Simple Falla por esfuerzo a tracción. La zona inf. de la viga genera tracción y la sup. aplastamiento notorio. El comportamiento del material permite pasar a un estado inelástico con grandes deformaciones sin colapso súbito.</p>					TRAMO 1			
					Esfuerzo en LPE (f_p) 593.837 Kg/cm ² Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE}) 0.004674		TRAMO 2	
					Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_{ip}}$ 124863.30 Kg/cm ²		Esfuerzo máximo (f_r) 834.342 Kg/cm ² Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.009738	
6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO					<p>Este cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga laminada recta (VLC-3). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 7.5 cm y carga máxima de rotura = 5620 kg</p>			

ANEXO 48. Flexión estática en viga laminada encolada en arco 4

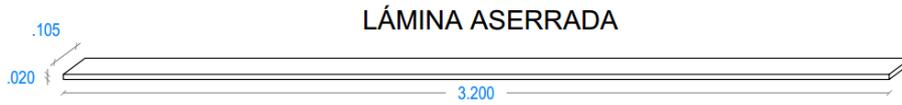
FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS EN ARCO					VIGA: VLC-4	21/02/2018				
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS							
$b = 9.00 \text{ cm}$ $L = 290.00 \text{ cm}$ $h = 18.00 \text{ cm}$			$CH\% = 13.12 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.479 \text{ gr/cm}^3$							
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA										
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{M(R-r)}{A \cdot r(\bar{r}-R)}$ kg/cm ²	Deformación Unitaria (Du) $Du = \delta \cdot x \cdot h \cdot x \cdot L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA					
					0	0	0	0	0	
					1	250	0.4	37.937	0.000514	
					2	500	0.7	75.874	0.000899	
					3	750	1.1	113.811	0.001413	
					4	1000	1.45	151.748	0.001862	
					5	1250	1.75	189.686	0.002247	
					6	1500	2	227.623	0.002568	
					7	1750	2.4	265.560	0.003082	
					8	2000	2.7	303.497	0.003467	
					9	2250	3.1	341.434	0.003981	
					10	2500	3.4	379.371	0.004366	
					11	2750	3.7	417.308	0.004751	
					12	3000	4	455.245	0.005137	
					13	3250	4.3	493.183	0.005522	
					14	3500	4.65	531.120	0.005971	
					15	3750	5.3	569.057	0.006806	
					16	4000	5.7	606.994	0.007320	
					17	4250	6.1	644.931	0.007834	
					18	4500	6.5	682.868	0.008347	
					19	4750	7	720.805	0.008989	
					20	5000	7.6	758.742	0.009760	
21	5250	8.1	796.680	0.010402						
22	5540	8.5	840.687	0.010916						
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO										
TRAMO 1			TRAMO 2							
Esfuerzo en LPE (f_{lp})			531.120 Kg/cm ²							
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})			0.005971							
Modulo de elasticidad (MOE)			87435.756 Kg/cm ²							
$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$			$87435.756 \text{ Kg/cm}^2$							
Esfuerzo máximo (f_r)			840.687 Kg/cm ²							
Deformación unitaria en LR (Du_{LR})			0.010916							
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA EN ARCO ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO					
		Tipo de falla (NTP 251.017) A Tensión Simple Falla por es fuerza a tracción. La zona inf. de la viga genera tracción y la sup. aplastamiento notorio. El comportamiento del material permite pasar a un estado inelastico con grandes deformaciones sin colapso súbito.			Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga laminada recta (VLC-4). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 8.5 cm y carga máxima de rotura = 5540 kg					

ANEXO 49. Flexión estática en viga laminada encolada en arco 5

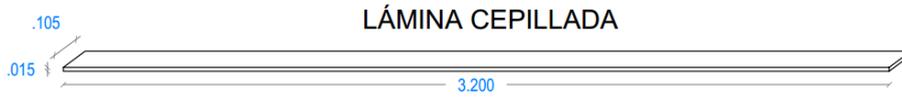
FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS EN ARCO					VIGA: VLC-5	21/02/2018
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 9.20 \text{ cm}$ $h = 18.00 \text{ cm}$ $L = 290.00 \text{ cm}$			$CH\% = 12.56 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.466 \text{ gr/cm}^3$			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{M(R-r)}{A \cdot r(\bar{r}-R)}$ kg/cm2	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA	
0	0	0	0	0		
1	250	0.35	37.112	0.000449		
2	500	0.75	74.225	0.000963		
3	750	1.05	111.337	0.001348		
4	1000	1.4	148.450	0.001798		
5	1250	1.65	185.562	0.002119		
6	1500	1.9	222.674	0.002440		
7	1750	2.25	259.787	0.002889		
8	2000	2.55	296.899	0.003275		
9	2250	2.9	334.012	0.003724		
10	2500	3.45	371.124	0.004430		
11	2750	3.85	408.236	0.004944		
12	3000	4.1	445.349	0.005265		
13	3250	4.5	482.461	0.005779		
14	3500	4.9	519.574	0.006293		
15	3750	5.3	556.686	0.006806		
16	4000	5.8	593.798	0.007448		
17	4250	6.25	630.911	0.008026		
18	4560	6.8	676.930	0.008732		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
TRAMO 1					TRAMO 2	
Esfuerzo en LPE (f_{lp})					334.012 Kg/cm2	
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})					0.003724	
Esfuerzo máximo (f_r)					676.930 Kg/cm2	
Modulo de elasticidad (MOE)						
$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3\delta_{lp}}$					88168.445 Kg/cm2	
Deformación unitaria en LR (Du_{LR})					0.008732	
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA EN ARCO ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO	
		Tipo de falla (NTP 251.017) A Tensión Simple Falla por esfuerzo a tracción. La zona inf. de la viga genera tracción y la sup. aplastamiento notorio. El comportamiento del material permite pasar a un estado inelástico con grandes deformaciones sin colapso súbito.			Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga laminada recta (VLC-5). Los datos obtenidos son los siguientes: Dimensiones, propiedades físicas (Contenido de Humedad y Densidad básica), propiedades mecánicas del ensayo a flexión estática como: deformación máxima de rotura = 6.8 cm y carga máxima de rotura = 4560 kg	

ANEXO 50. Plano guía para construcción de las vigas laminadas encoladas rectas

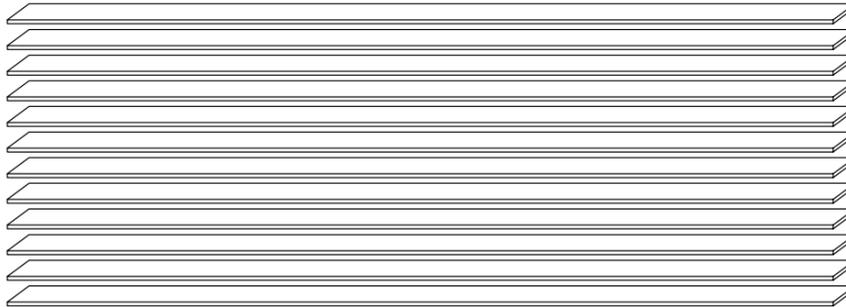
EN ASERRADERO



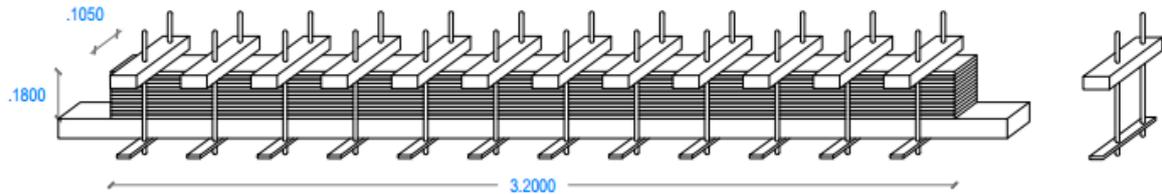
EN CARPINTERÍA



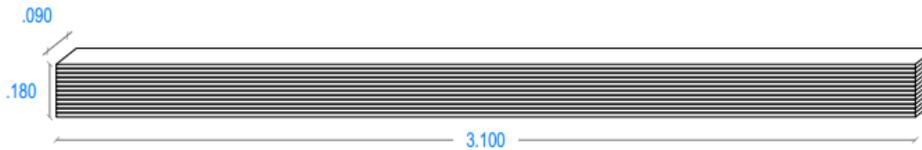
ENSAMBLE EN SECO DE LÁMINAS



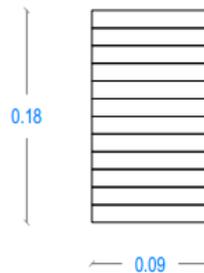
ENCOLADO Y PRENSADO DE LÁMINAS



VIGAS RECTAS

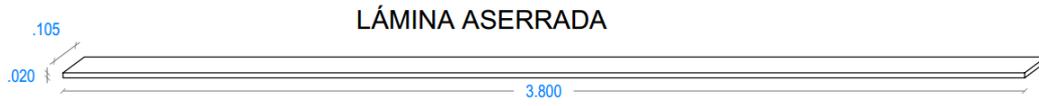


SECCION TRANSVERSAL DE VIGA

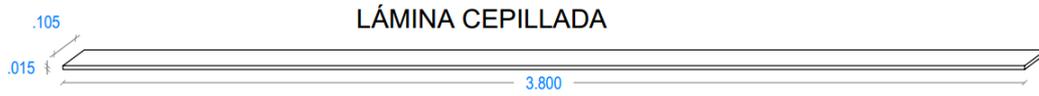


ANEXO 51. Plano guía para construcción de las vigas laminadas encoladas en arco

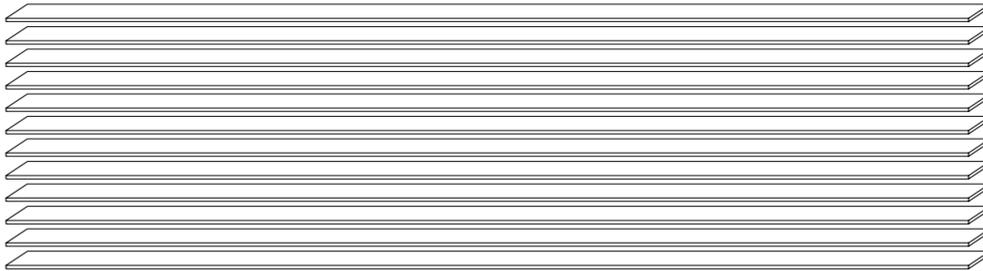
EN ASERRADERO



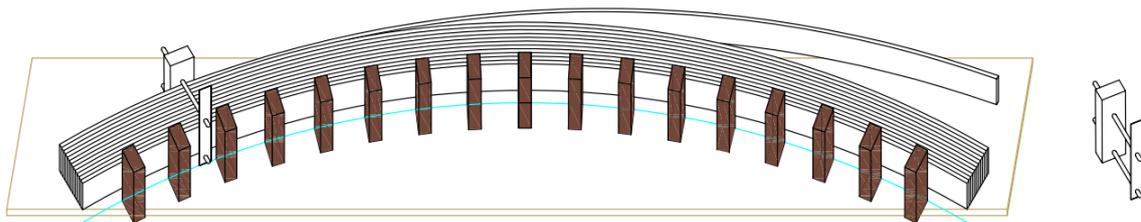
EN CARPINTERÍA



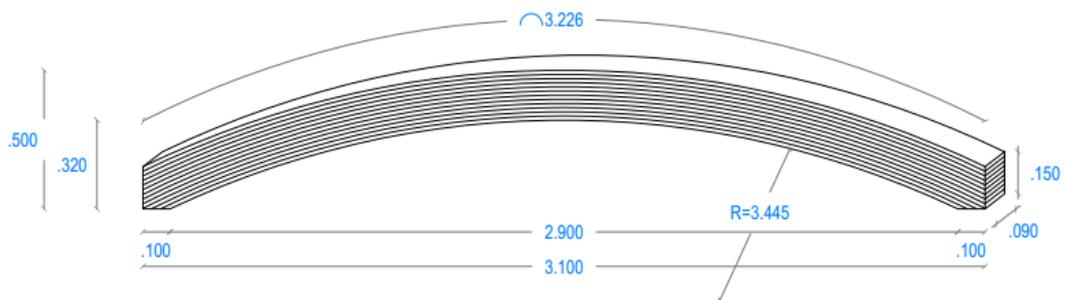
ENSAMBLE EN SECO DE LÁMINAS



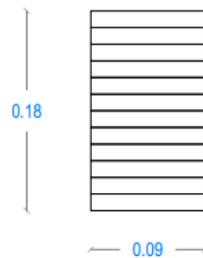
ENCOLADO Y Prensado DE LÁMINAS



VIGAS EN ARCO



SECCION TRANSVERSAL DE VIGA



ANEXO 52. Proceso de construcción de vigas laminadas encoladas



PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía N° 1. Aserrado de madera obtenida de aserradero “Chilón”.



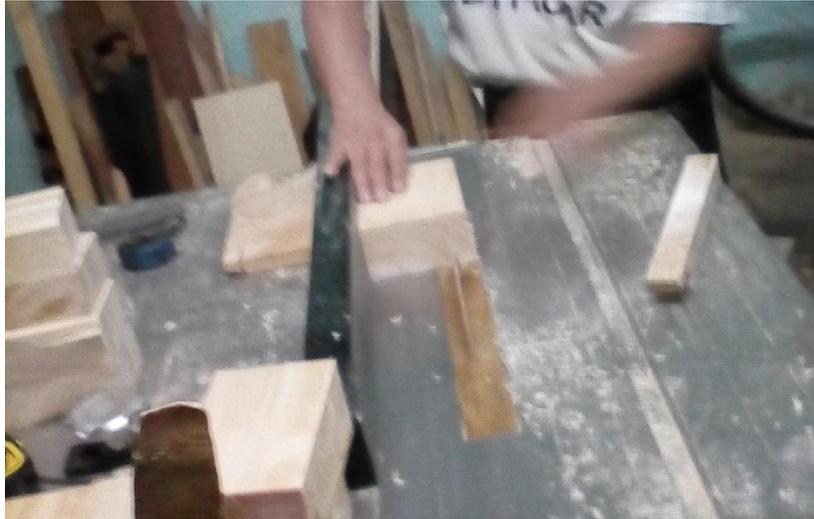
Fotografía N° 2. Almacenamiento de madera aserrada.



Fotografía N° 3. Secado de madera aserrada en horno



Fotografía N° 4. Habilitación de probetas para contenido de humedad y densidad



Fotografía N° 5. Secado en estufa de muestras para determinar contenido de humedad y densidad básica.



Fotografía N° 6. Habilitación de probetas estándar de flexión



Fotografía N° 7. Clasificación de la madera



Fotografía N° 8. Cepillado de láminas



Fotografía N° 9. Control de espesor de laminas cepilladas



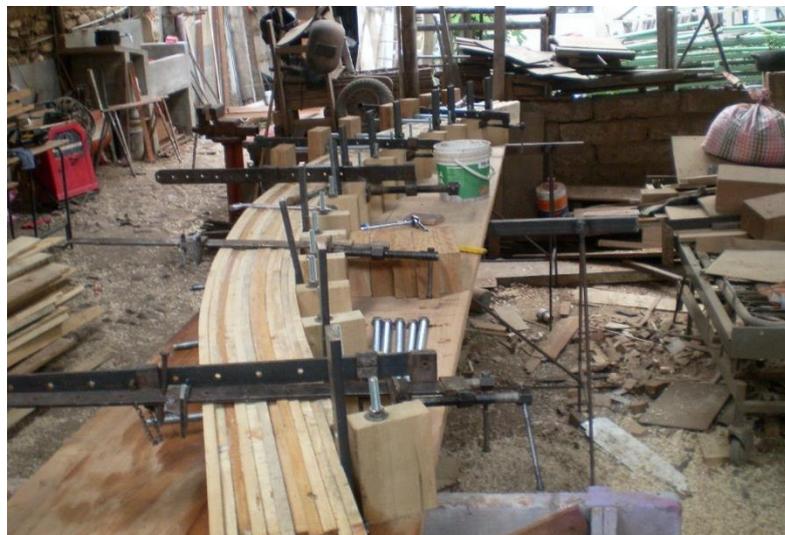
Fotografía N° 10. Encolado y ensamblado de láminas



Fotografía N° 11. Prensado de láminas para elaboracion de vigas laminadas rectas.



Fotografía N° 12. Prensado de láminas para elaboracion de vigas laminadas en arco.



Fotografía N° 13. Reapriete de prensas en la elaboración de viga laminada recta.



Fotografía N° 14. Reapriete de prensas en la elaboración de viga laminada en arco.



Fotografía N° 15. Cepillado final de vigas laminadas rectas.



Fotografía N° 16. Cortes de testas de vigas laminadas en arco.



Fotografía N° 17. Ensayo de probetas de flexión estática.



Fotografía N° 18. Probetas de flexion ensayadas.



Fotografía N° 19. Habilitación de probetas para ensayo de esfuerzo de corte.



Fotografía N° 20. Ensayo de esfuerzo de corte



Fotografía N° 21. Ensayo de vigas laminadas rectas



Fotografía N° 22. Ensayo de vigas laminadas en arco.



Fotografía N° 23. Estudio de falla en viga laminada en arco.



Fotografía N° 24. Comparacion de fallas en vigas ensayadas.

