

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS LAMINADAS EN
FORMA DE ARCO Y VIGAS MACIZAS RECTAS DE MADERA DE PINO RADIATA
SOMETIDAS A CARGA CENTRAL”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR

Bach. CUSQUISIBAN AQUINO, MARIA NOEMI

ASESOR:

Dr. Ing. CENTURIÓN VARGAS, MAURO AUGUSTO

CAJAMARCA – PERÚ

2024

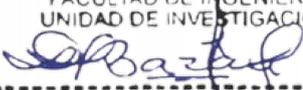


CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

FACULTAD DE INGENIERÍA

- Investigador:** Maria Noemi Cusquisiban Aquino
DNI: 43575330
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
- Asesor:** Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas
Facultad: Ingeniería
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**
"COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXION EN VIGAS LAMINADAS EN FORMA DE ARCO Y VIGAS MACIZAS RECTAS DE MADERA PINO RADIATA SOMETIDAS A CARGA CENTRAL"
- Fecha de evaluación:** 12/11/2024
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 13 %
- Código Documento:** Oide:3117:404752097
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 12/11/2024

 <hr/> FIRMA DEL ASESOR Mauro Augusto Centurión Vargas DNI: 26604421	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN</p>  <hr/> Dra. Ing. Laura Sofo Bazán Díaz DIRECTORA
	<hr/> UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

DEDICATORIA

Esta investigación lo dedico a:

A Dios

Que es el creador de todo el mundo, el único rey de reyes, todo poderoso y que siempre está a mi lado para darme la fuerza y la sabiduría para superar los momentos difíciles.

A mi familia

Por ser mi refugio y mi apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado, por sus oraciones, su amor y comprensión, por ser mi motivación y que me enseñan a superarme cada día. Esta tesis es un testimonio de la fe y la perseverancia que me impulsan a mejorar cada día en todos los ámbitos de mi vida.

A mis amigas

Por estar siempre presentes en mi vida, compartiendo mis alegrías y tristezas, por sus diferentes aportes en la realización de esta investigación y que nuestra amistad sincera perdure toda la vida.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios por haberme regalado la vida, por cada momento, cada lágrima y cada sonrisa compartida , también agradecer a mi familia por su apoyo incondicional y haberme motivado en mi formación académica, expresar mi sincero agradecimiento a mi asesor Dr. Ing. Mauro A. Centurión Vargas, por su apoyo y asesoramiento del presente estudio.

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1 Planteamiento del problema.....	13
1.2 Formulación del problema	14
1.3 Justificación del problema	14
1.4 Delimitaciones	14
1.5 Objetivos	15
1.5.1 Objetivo General	15
1.5.2 Objetivos Específicos	15
1.6 Hipótesis	15
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1 Antecedentes teóricos de la investigación	16
2.1.1 Internacionales	16
2.1.2 Nacionales	17
2.1.3 Locales	17
2.2 Bases teóricas.....	18
2.2.1 La Madera	18
2.2.2 Composición de la madera	19
2.2.3 Ventajas y desventajas de la madera en la construcción.....	20
2.2.4 Propiedades mecánicas de la madera.....	21
2.2.5 Propiedades físicas de la madera.....	22
2.2.6 Pino radiata.....	23
2.2.7 La Reforestación con pino radiata.....	25
2.2.8 Madera Laminada.....	28
2.2.9 Tipo de laminado para la fabricación de madera laminada.....	30
2.2.10 Ventajas y desventajas de la madera laminada	31
2.2.11 Adhesivo para la madera laminada	32
2.2.12 Uso de los arcos en la construcción	34
2.2.13 Vigas laminadas en arco.....	37

2.2.14	Madera maciza	37
2.2.15	Tipo de uniones en estructuras de madera laminada.....	39
2.2.16	Proceso de fabricación de la madera laminada	40
2.2.17	Proceso de fabricación de madera laminada	41
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
2.3.2	Base normativa para determinar las propiedades mecánicas de la madera.....	49
2.3.3	Base normativa para elaboración y estudio de madera laminada encolada	51
2.3.4	Base de cálculo según manual de diseño Padt-Refort.....	57
CAPITULO III. MATERIALES Y METODOLOGÍA		63
3.1	Ubicación geográfica de los bosques de pino radiata	63
3.2	Metodología y desarrollo de la investigación	65
3.2.1	Tipo de investigación	65
3.3	Población y muestra.....	65
3.3.1	Población de estudio	65
3.3.2	Muestras	66
3.4	Unidad de análisis	66
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	67
3.6	Análisis e interpretación de resultados	67
3.7	Equipos y materiales	67
3.8.1	Determinación de las propiedades físicas de la madera.....	68
3.8.2	Determinación de las propiedades mecánicas de la madera	71
3.8.4	Determinación de propiedades de la madera laminada encolada	72
3.8.5	Clasificación visual de madera aserrada	73
3.9	Descripción del adhesivo a utilizar	74
3.10	Diseño de las vigas.....	74
3.10.1	Diseño de vigas laminadas en arco	74
3.10.2	Diseño de vigas rectas	76
3.11	Flexión estática en vigas laminadas en forma de arco y vigas rectas macizas	78
CAPITULO IV: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....		81
4.1	Resultados de las propiedades físicas de la madera.....	81
4.1.1	Ensayo de contenido de humedad	81
4.1.2	Ensayo de densidad básica	82

4.2	Resultados de las propiedades mecánicas	82
4.3	Contrastación de la hipótesis	90
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		91
5.1	Conclusiones	91
5.2	Recomendaciones	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA		92
APENDICES		96
APENDICE A. Propiedades físicas de la madera		96
APENDICE B. Ensayo a flexión de probetas		99
APENDICE C: Clasificación visual de la madera		119
APENDICE E: Ensayos a flexión de vigas macizas rectas y vigas laminadas		138
ANEXOS		148
Anexo A: Tablas para el pre dimensionamiento de las vigas rectas macizas		148
Anexo B: Tabla para el diseño de viga laminada en forma de arco		150
Anexo C: Ficha técnica de Teknocola Extra		153
Anexo D: Panel fotográfico		156

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Propiedades mecánicas de la madera	21
Tabla 2	Propiedades físicas de la Madera	22
Tabla 3	Descripción taxonómica del pino radiata.....	24
Tabla 4	Propiedades físicas del pino radiata	24
Tabla 5	Propiedades mecánicas del pino radiata	25
Tabla 6	Plantaciones en la Granja Porcon	27
Tabla 7	Plantaciones en Adefor	27
Tabla 8	Tipos de adhesivos para uso en diferentes condiciones ambientales.....	34
Tabla 9	Tolerancias en aristas para el producto terminado.....	45
Tabla 10	Tolerancias en longitud para elementos rectos o curvos.	46
Tabla 11	Esfuerzos básicos a utilizar en el cálculo de las tensiones admisibles	53
Tabla 12	Datos para evaluar la razón IKIG	54
Tabla 13	Variación de las propiedades resistentes	56
Tabla 14	Deformaciones o flechas máximas admisibles en vigas de madera (ff)	56
Tabla 15	Padt- Refort/Junac (1984).....	58
Tabla 16	Deformaciones admisibles en vigas de madera	59
Tabla 17	Factores para el cálculo de esfuerzos admisibles.....	60
Tabla 18	Según la densidad básica	60
Tabla 19	Según el módulo de elasticidad para maderas	61
Tabla 20	Según los esfuerzos admisibles para maderas	61
Tabla 21	Numero de probetas ensayadas en el estudio con sus respectiva NTP.....	66
Tabla 22	Cuadro de análisis de resultados de CH antes de secar al horno.	68
Tabla 23	Cuadro de análisis de resultados de CH después de secar al horno.....	69
Tabla 24	Ensayo densidad básica.....	70
Tabla 25	Resultado Del Ensayo Flexión Estática De Probetas.....	71
Tabla 26	Esfuerzo De Corte Paralelo A La Fibra	72
Tabla 27	Resultados del pre dimensionamiento de las vigas laminadas en arcos	75
Tabla 28	Datos de la viga laminada en arco	76
Tabla 29	Calculo de volumen y área de la madera, para las vigas laminadas en arco.....	76
Tabla 30	Datos de la viga laminada en arco	77
Tabla 31	Datos de la viga maciza recta.....	77

Tabla 32	Calculo de volumen y área de la madera, para las vigas laminadas en arco.....	77
Tabla 33	Resultados del ensayo a flexión promedio de las vigas laminadas en arco	78
Tabla 34	Resultados del ensayo a flexión promedio de las vigas laminadas en arco	78
Tabla 35	Medidas de las vigas	80
Tabla 36	Cuadro de análisis de resultados de con. de humedad antes de secar al horno.....	81
Tabla 37	Cuadro de análisis de resultados de CH después de secar al horno	81
Tabla 38	Ensayo densidad básica.....	82
Tabla 39	Resultado del ensayo flexión estática de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm.	82
Tabla 40	Resultados del ensayo a flexión estática en vigas laminadas en forma de arco	83
Tabla 41	Resultados del ensayo a flexión estática en vigas macizas rectas	83
Tabla 42	Análisis de resultados de esfuerzo en límite de rotura	85
Tabla 43	Análisis de resultados de la deformación unitaria en límite de rotura	87
Tabla 44	Tipos de fallas en las vigas laminadas en arco y rectas macizas	89
Tabla 45	Esfuerzo maximo promedio en vigas.....	90

INDICE DE FIGURAS

Figuras 1 Composición de la madera.....	19
Figuras 2 Pino radiata	23
Figuras 3 Principales países con plantaciones forestales.....	26
Figuras 4 Edificio del reichstag en Berlin	29
Figuras 5 Laminación horizontal.....	30
Figuras 6 Laminación vertical.....	31
Figuras 7 Puente romano de Mérida	35
Figuras 8 Acueducto de segovia	35
Figuras 9 Arco romano o de medio punto	36
Figuras 10 Medidas de las dovelas	36
Figuras 11 Arcos de madera laminada.....	37
Figuras 12 Esquema de ensayo de doble esfuerzo cortante paralelo a la fibra.....	51
Figuras 13 Ubicación geográfica del proyecto a nivel de departamento	63
Figuras 14 Ubicación geográfica del proyecto, a nivel provincial	64
Figuras 15 Ubicación local de los bosques	64
Figuras 16 Ubicación del laboratorio de materiales de construcción.....	65
Figuras 17 Vigas laminadas en forma de arco, con uniones a media madera	66
Figuras 18 Viga maciza recta.....	67
Figuras 19 Diagrama de curvatura de la viga en arco.....	75
Figuras 20 Esfuerzo vs deformación unitaria	86
Figuras 21 Deformación en el límite de roturas en las vigas.....	88

RESUMEN

La madera es un material renovable que se usa como material de construcción en diferentes países debido a sus propiedades térmicas, mecánicas y estéticas, ya sea como madera maciza o como madera laminada. La madera laminada destaca en su uso estructural para construcciones de elementos que requieran cubrir grandes luces, sin embargo, en nuestro medio la madera laminada es poco conocida, siendo la madera maciza muy usada en construcciones de viviendas para pisos, entresijos o coberturas, estructuras que en muchos casos consideran uniones o anclajes entre elementos. Con esta investigación se busca incentivar el uso de la madera laminada en todos los sectores de la construcción, sobre todo en la libertad de diseños que permitan cubrir grandes luces y tengan diferentes formas geométricas. En este contexto se desarrolló esta investigación que tuvo como objetivo determinar la resistencia a flexión de vigas laminadas en forma de arco y vigas macizas rectas en madera de pino radiata sometido a carga central; para ello se fabricaron y ensayaron 05 especímenes de cada tipo de vigas, cada uno de éstos tienen dos uniones ubicadas a cada tercio de la longitud de luz. Los resultados obtenidos mostraron que las vigas laminadas en forma de arco representan un esfuerzo a flexión de 4,3 veces en relación a las vigas macizas rectas. Asimismo, se determinó que las cargas máximas de rotura de las vigas laminadas en arco fue de 4 712 kg y de las vigas rectas macizas fue de 1 114 kg, y la deformación en el límite de rotura de las vigas laminadas en arco fue de 4,68 cm y de las vigas rectas macizas fue de 3,57 cm. El tipo de falla que presenta las vigas laminadas en arco son fallas dúctiles, mientras que las vigas rectas macizas presentan falla frágil. Estos resultados demostraron que las vigas laminadas en forma de arco ofrecen una mayor resistencia a la flexión comparadas a las vigas macizas rectas, lo que hace una opción más eficiente para aplicaciones estructurales que requieran una mayor resistencia a la flexión.

PALABRAS CLAVES: Viga laminada en arco, Viga maciza recta, Resistencia a flexión.

ABSTRACT

Wood is a renewable material that is used as a construction material in different countries due to its thermal, mechanical and aesthetic properties, either as solid wood or as laminated wood. Currently, laminated wood stands out in its structural use for constructions of elements that require covering large spans, however, in our environment laminated wood is little known, with solid wood being widely used in housing constructions for floors, mezzanines or coverings, structures that in many cases consider unions or anchors between elements. In this context, this research was developed, which aimed to determine the bending resistance of laminated beams in the shape of an arch and solid straight beams in radiate pine wood subjected to central loading. For this, 05 specimens of each type of beam were manufactured and tested, each of these have two joints located at each third of the span length. The results obtained showed that the arc-shaped laminated beams represent a bending stress of 4,3 times in relation to the straight solid beams. Likewise, it was determined that the maximum breaking loads of the laminated arch beams was 4 712 kg and of the solid straight beams was 1 114 kg, and the deformation at the breaking point of the laminated arch beams was 4.68 cm and of the solid straight beams was 3.57 cm. The type of failure presented by arc-laminated beams is ductile failure, while solid straight beams have brittle failure. These results demonstrated that arc-shaped laminated beams offer greater flexural strength compared to straight solid beams, making them a more efficient option for structural applications requiring greater flexural strength. This research seeks to encourage the use of laminated wood in all construction sectors, especially in the freedom of designs that allow large spans to be covered and have different geometric shapes. Likewise, strengthen the importance of implementing a regional reforestation plan with radiate pine, in order to create, maintain and conserve renewable forests.

KEYWORDS: Laminated arch beam, Solid beams, Flexural strength

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La madera laminada es un material versátil y valioso en el sector de la construcción, reconocido por sus múltiples beneficios y características únicas que la hacen especialmente atractiva para diversas aplicaciones. El proceso de laminado consiste en unir múltiples capas de madera finas mediante adhesivos avanzados, lo que resulta en una estructura sólida y duradera. Este material se utiliza principalmente en la fabricación de arcos de madera laminada, que son ampliamente utilizados en la construcción de estructuras como puentes, marquesinas y techos.

La principal ventaja de la madera laminada en arco es su resistencia y su capacidad para soportar cargas pesadas. La capacidad de la madera laminada para resistir la flexión y la deformación la hace ideal para la construcción de arcos y otras estructuras de forma curva. A diferencia de la madera maciza, que puede ser más propensa a agrietarse o deformarse con el tiempo, la madera laminada es más estable y menos susceptible a daños causados por cambios en la temperatura y la humedad.

Las vigas macizas son una opción tradicional y ampliamente utilizada en la construcción debido a su simplicidad y facilidad de fabricación, tienen limitaciones en términos de resistencia y estabilidad especialmente cuando se someten a esfuerzos de flexión.

La madera puede ser propensa a defectos naturales como nudos, grietas y variaciones en la densidad, lo que puede afectar su resistencia y durabilidad.

1.1 Planteamiento del problema

En el mundo la necesidad de cubrir grandes luces en la construcción de edificios de gran escala ha llevado a la búsqueda de materiales estructurales innovadores. La madera laminada en arco se ha destacado como una opción viable, ya que combina resistencia, durabilidad y versatilidad, permitiendo alcanzar luces de hasta 30 metros sin soportes adicionales (Humanes Cisnal, 2017). Entre ellas tenemos en Canadá el centro de convenciones de Vancouver que tiene una estructura de madera laminada en arco que cubre una luz de 30 metros, el aeropuerto internacional Filipinas-terminal 2, techos de madera laminada con arcos de 30 metros, esta estructura reduce el número de columnas, generando un espacio libre y abierto (Maderera andina, 2024).

En países como es en Costa Rica se tiene construcciones hechas de madera laminada como es el Hotel de Papagayo, cuyas estructuras de cubierta conformadas por vigas curvas de madera laminada formando por marcos tri – articulados, con una luz libre de 6 metros, en Puerto de Varas, Chile, se encuentra la construcción de piscicultura Lago Verde, conformada por vigas curvas tri-articulados apoyadas directamente sobre pedestales de hormigón, la luz libre máxima es de 38 metros (Gomes, 2012).

En el Perú, existen construcciones como almacenes, polideportivos, centros comerciales entre otros, cuyas características comunes es la necesidad por cubrir grandes luces libres, los cuales se han realizado con materiales convencionales como es el acero estructural o el uso del concreto armado los cuales generan una gran contaminación del medio ambiente. Es por tal motivo que se propone el uso de la madera ya que es un material renovable y muy usado en países desarrollados (Narváez, 2018).

En Cajamarca existen construcciones con coberturas de grandes luces construidas de acero estructural como son los campos deportivos, entre ellos se puede nombrar, el complejo deportivo Vica, con cobertura de 30 metros de luz libre, es por eso que se plantea el uso de la madera laminada con uniones para la construcción de elementos estructurales que no estén limitadas en su longitud y forma.

El uso de la madera maciza como elemento estructural ha disminuido considerablemente debido a sus limitaciones inherentes, como la dificultad para controlar sus puntos débiles y nudos. Esta falta de control impide certificar una resistencia constante a lo largo de toda la pieza. Además, a medida que aumenta la sección del elemento, también lo hacen las fendas que son grietas o fisuras que pueden surgir en la madera. Estas fendas pueden ser el resultado de varios factores, incluyendo que la madera este verde o tenga un contenido

de humedad superior al equilibrio higroscópico, lo que genera fendas¹ de secado (Segura Plaza, 2016).

1.2 Formulación del problema

¿Cuántas veces mayor es la resistencia a flexión de vigas laminadas en arco en comparación a las vigas macizas rectas, con uniones a media madera sometidas a carga central?

1.3 Justificación del problema

Esta investigación se realiza, con el objetivo de determinar la resistencia a flexión de las vigas laminadas en forma de arco y de las vigas macizas rectas construidas con uniones a media madera, considerando que para cubrir grandes luces es indispensable unir elementos.

Con esta investigación se determinará la resistencia a flexión de los dos tipos de vigas con uniones a media madera sometidas a carga central, y se puede verificar el comportamiento de la resistencia a flexión en la aplicación de la construcción estructural de coberturas de grandes luces. En este contexto la selección adecuada es muy importante para garantizar la seguridad y estabilidad de las vigas en las construcciones proporcionando información valiosa para ingenieros y arquitectos en la selección de materiales y diseño de estructuras de madera las cuales se pueden obtener de secciones y longitudes sin restricciones lo que hace ideal para proyectos de construcción innovadores, destacando su importancia en la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes para el futuro.

1.4 Delimitaciones

La presente investigación se determinará la resistencia a flexión de las vigas laminadas en forma de arco y vigas macizas rectas con uniones a media madera sometidas a carga central, los dos tipos de vigas tienen las mismas condiciones de: diseño, materiales de construcción, proceso constructivo, aplicación de cargas y secciones de las vigas. Cuyos ensayos se realizaron en el laboratorio de materiales de construcción de la Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería.

La madera de pino radiata fue obtenida del bosque de la empresa inversiones Chilón, ubicado en el centro poblado de Porcón alto, a 6.5 km al noroeste de la cooperativa Atahualpa a una altitud de 3530 m.s.n.m. en una zona de ladera. Para las uniones de las láminas y de los bloques de madera se utilizó el adhesivo tecno cola.

¹ Fendas. Grietas o fisuras en la madera

Los únicos parámetros que se determinarán serán el esfuerzo máximo, deformación máxima y el tipo de fallas de los dos tipos de vigas.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Determinar la resistencia a flexión en vigas laminadas en forma de arco con respecto a vigas macizas rectas, con uniones a media madera de pino radiata, sometidas a carga central.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Determinar las cargas máximas de rotura obtenida de las vigas laminadas en arco y vigas rectas de madera pino radiata.

2. Determinar las deformaciones en el límite de ruptura obtenidos de las vigas laminadas en arco y vigas rectas de madera pino radiata.

3. Determinar el tipo de falla obtenidos de las vigas laminadas en arco y vigas rectas de madera pino radiata.

1.6 Hipótesis

La resistencia a la flexión de las vigas laminadas en arco es dos veces mayor que la resistencia a la flexión de las vigas macizas rectas, con uniones a media madera de pino radiata, sometidas a carga central.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.1 Internacionales

Galindo J. (2020) realizó el estudio denominado “Determinación de las propiedades mecánicas de las vigas de madera laminada como elementos estructurales”. Su objetivo fue ensayar probetas de vigas de madera laminada para determinar las principales características mecánicas y evaluar su aplicación como elementos estructurales en obras de ingeniería. En la metodología emplearon los tablonos y tablas elaborados con madera de Canelo y Fernán Sánchez. La madera paso por un proceso de secado artificial; luego se elaboraron tablonos y tablas de forma específica para obtener listones de (1,8x6x190) cm, que se emplearon para elaborar vigas compuestas por cinco listones colocados de manera horizontal. Concluyeron que, efectivamente, las fabricadas a partir de la madera Fernán Sánchez, son más resistentes y rígidas. Al evaluar los resultados con la densidad de cada tipo de madera evaluada, demostraron claramente que las propiedades mecánicas están íntimamente ligadas a la densidad.

Vásquez V., Reyes R., (2019), realizaron el estudio “Caracterización mecánica de vigas I fabricadas con tableros OSB y madera aserrada estructural de pino radiata”. El estudio tuvo como objetivo determinar las propiedades mecánicas de las tipologías de vigas I (I-joist) fabricadas con madera aserrada estructural de pino radiata, clasificada mediante métodos visual y mecánico; y tableros OSB. El diseño experimental contemplado en la investigación abarcó la variabilidad y la cantidad de vigas I, consideraron factores como la altura, escuadría, contenido de humedad y grado estructural de las alas, así como el espesor del alma del OSB, el adhesivo, alma/ala y los ensayos por tipología. En las vigas sometidas a ensayos de flexión, la falla típica se manifiesta comúnmente en el borde traccionado. En contraste, durante el ensayo de corte, la falla se desplaza a través del tablero OSB. En el ensayo de reacción, la falla anticipada ocurrió tanto en el tablero OSB como en el ala de madera aserrada.

Guzmán L., y Linares L. (2021), realizaron la investigación sobre la “Estructura en madera laminada en la Orinoquia”. El planteamiento fue adaptar el sistema constructivo porticado en madera laminada para edificios de no más de cinco pisos, utilizándolo como una nueva tecnología de construcción sostenible para las edificaciones, con la finalidad de reducir el impacto ambiental durante la construcción y mejorar la accesibilidad económica para la

población. En su estudio sustentaron que la resistencia característica a flexión de las láminas con uniones dentadas con respecto a las láminas macizas de Tornillo es inferior solo en un 3%; Ambas resultaron ser similares entre sí. Adicionalmente, demostraron que las láminas con uniones dentadas cumplían con los requisitos de fabricación de MLE estructural según la norma EN 14080.

2.1.2 Nacionales

Hurtado M. y Rudy W. (2019), realizaron el estudio denominado “Análisis paramétrico del comportamiento sísmico de conexiones postensadas² en pórticos de madera laminada”. En el cual aplicaron los estudios realizados por el programa PRES LAM para el diseño de estructuras de madera laminada post tensado, teniendo en cuenta el espectro de diseño de la Norma Peruana E 030 “Diseño sismo resistente”. En su estudio plantearon que es factible lograr un rendimiento estructural elástico frente a eventos sísmicos severos (definidos por un espectro de diseño de desplazamiento); y sustentaron que, tanto la demanda de esfuerzos en la madera como en el cable pos tensado se sitúan dentro de los límites máximos permitidos.

Ordoñez P. y Lugo Y., (2016), en el estudio titulado “Estructuras de madera aplicadas al sector de la construcción en el Perú”, proponen el uso de la madera como material de construcción en un país con abundantes recursos forestales como es el Perú, a través de ensayos experimentales validaron el adecuado comportamiento mecánico y sísmico de las estructuras de madera; asimismo concluyeron que los valores de las propiedades físicas y mecánicas determinadas confirman la posibilidad de utilizar al Pino radiata en la elaboración de entramados de madera con fines estructurales, dado que los valores obtenidos en los ensayos se encuentran dentro de los rangos permisibles normalizados.

2.1.3 Locales

Araujo, E. y Sánchez L. (2022) , realizó el estudio titulado “Resistencia a flexión del eucalipto, pino, ciprés y tornillo usadas para la elaboración de vigas laminada”, en el cuál evaluó la resistencia a la flexión de vigas laminadas y macizas para cuatro tipos de madera (eucalipto, pino, ciprés y tornillo), empleando cuatro aditivos (cola, laca, lasures y barniz); Observo que las vigas macizas presentaban un comportamiento más favorable, alcanzando una resistencia máxima de 1382. 87 kg/cm^2 en la madera de eucalipto con aditivo de barniz. Por

² Postensadas. Es un proceso de tratamiento que consiste en aplicar una fuerza controlada y sostenida a la madera para mejorar sus propiedades mecánicas y reducir su tendencia a deformarse o agrietarse.

el contrario, la resistencia máxima obtenida en las vigas laminadas de madera es de 682. 03 kg/cm^2 , proveniente de la madera de eucalipto con aditivo de barniz. Llego a la conclusión de que las vigas laminadas son menos resistentes que las vigas macizas al utilizar la misma madera y aditivo.

Guarnís C. (2022), realizo el estudio denominado “Resistencia a flexión de vigas macizas y vigas laminadas para dos tipos de madera, en la ciudad de Cajamarca”. El objetivo fue determinar la resistencia a flexión de vigas macizas y vigas laminadas para dos tipos de madera. Realizó una investigación aplicada y experimental. Para las vigas de eucalipto laminada y maciza, obtuvo valores de 1229. 27 kg/cm^2 y 665. 18 kg/cm^2 respectivamente; y para las vigas de Pino obtuvo valores de 530. 35 kg/cm^2 y 539. 26 kg/cm^2 respectivamente. Por tanto, llegó a la conclusión de que las vigas de Eucalipto exhiben una mayor resistencia a la flexión en comparación con las vigas de Pino.

Narvaez D., (2018) realizo el “Estudio del comportamiento mecánico de una viga en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual”, con el objetivo de determinar el comportamiento mecánico a flexión de las vigas en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual. Aplicó una investigación descriptiva, y tomó como la población de estudio las plantaciones de pino pátula obtenidas del bosque perteneciente a la empresa Inversiones "Chilón". Estas plantaciones se encuentran ubicadas en el centro poblado de Porcón Alto, a 6. 5 km al noroeste de la cooperativa Atahualpa Jerusalén, a una altitud de 3530 m.s.n.m. en una zona de ladera.

Se llega a la conclusión de que el esfuerzo a flexión en las vigas en arco de madera laminada encolada es un 67, 74 % mayor que el esfuerzo a flexión en las vigas rectas de madera laminada encolada.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 La Madera

Definiciones

La madera es un material natural, renovable y versátil que se obtiene de la corteza de los árboles y se utiliza en diversas aplicaciones (Forest Products society, 2017, p.1).

La madera ha sido uno de los principales materiales utilizados para fines estructurales. Además, ha sido establecido como el único recurso natural renovable que cuenta con buenas propiedades estructurales a lo largo del tiempo (Barrera Peñafiel , 2017).

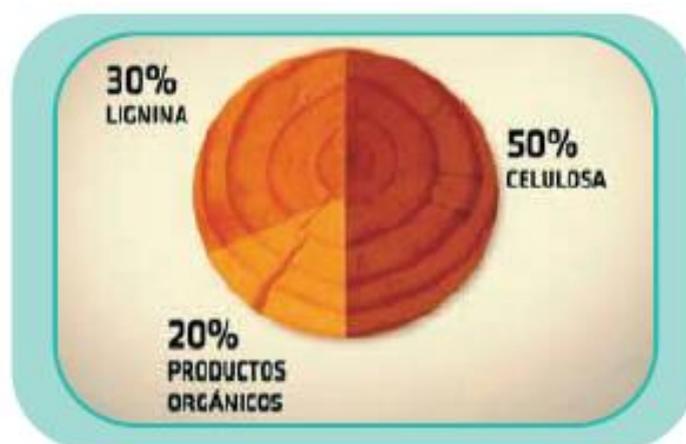
La madera ha sido uno de los materiales más empleados por el ser humano para la edificación de construcciones desde los inicios de la historia. A pesar de que el uso de acero, hormigón o hierro ha contribuido significativamente a los avances en la construcción, la madera nunca ha perdido su popularidad. De hecho, la cantidad de viviendas de madera alrededor del mundo puede resultar sorprendente para muchos lectores. Es sabido que países como Japón, Escocia o Estados Unidos son líderes en la construcción en madera. En efecto, la proporción de construcción de nuevas viviendas, ya sea total o parcialmente, puede exceder el 60 % en Japón, el 70 % en Escocia y el 85 % en los Estados Unidos. En las últimas décadas, la industria de la madera ha experimentado un desarrollo gracias a la implementación de nuevas tecnologías, las cuales podrían facilitar la expansión del uso de este material en el sector de la construcción (Adler & Peciña, 2022).

2.2.2 Composición de la madera

Según Aguilar, J. (2011). La madera presenta una estructura fibrosa compuesta en su mayor parte por celulosa, $C_6H_{12}O_5$, la cual conforma la base resistente de las plantas, y lignina, $C_{19}H_{24}O_{14}$, que brinda rigidez y solidez al material. Además, contiene en menor proporción: resinas, almidón, azúcares, taninos, colorantes, alcoholes y alcanfor, que son productos de utilidad industrial.

Figuras 1

Composición de la madera



Nota. La imagen muestra la distinta composición porcentual de un bloque de madera en corte transversal. Tomado de la guía didáctica de madera titulado *Materiales y materias primas capítulo 3* (p.11), por J. Aguilar & E. Guzowski, 2011, INET.

2.2.3 Ventajas y desventajas de la madera en la construcción

A. Ventajas

Su flexibilidad proporciona versatilidad y adaptabilidad para atender las diversas necesidades de proyectos, ya sean simples o complejos (GeBe Arquitectura , 2022).

Su origen natural le otorga una singular elegancia, con una amplia gama de colores, texturas y acabados. Asimismo, posee propiedades aislantes tanto térmicas como acústicas (GeBe Arquitectura , 2022).

Es un material renovable siempre y cuando se utilice madera certificada, es respetuoso con el medio ambiente, con una huella de carbono baja en su línea de producción y transformación, bien tratada es muy duradera (GeBe Arquitectura , 2022).

B. Desventajas de usar la madera en construcción:

Su durabilidad y estabilidad de la madera se verán comprometidas si no se protege adecuadamente contra la exposición al sol, agua y condiciones climáticas adversas (GeBe Arquitectura , 2022).

La elección inadecuada de acuerdo a su categoría y aplicación, puede resultar en problemas de inestabilidad u otros inconvenientes, debido a las disparidades en resistencia y dureza entre las especies (GeBe Arquitectura , 2022).

La complicación de adquirir componentes estructurales naturales de grandes dimensiones podría restringir la viabilidad de la madera en proyectos de construcción de gran escala (GeBe Arquitectura , 2022).

La madera necesita una asidua atención y un tratamiento apropiado para disminuir su susceptibilidad al fuego y preservar sus propiedades (GeBe Arquitectura , 2022).

2.2.4 Propiedades mecánicas de la madera

Tabla 1

Propiedades mecánicas de la madera

PROPIEDAD	DEFINICIÓN
Resistencia	Recibir una fuerza o presión sobre ella, sin sufrir daño o alteración. De todas las fuerzas de la madera de su resistencia a la tracción tiene los valores más altos.
Tracción	La mayor resistencia es en dirección paralela a las fibras y la menor en sentido perpendicular a las mismas. La rotura en tracción se produce de forma súbita.
Compresión	La resistencia a compresión aumenta al disminuir el grado de humedad, a mayor peso específico de la madera mayor es su resistencia, la dirección del esfuerzo al que se somete también influye en la resistencia a la compresión, la madera resiste más al esfuerzo ejercido en la dirección de sus fibras y disminuye a medida que se ejerce atravesando la dirección de las fibras.
Flexión	El esfuerzo aplicado en la dirección perpendicular a las fibras Produce un acortamiento de las fibras superiores y un alargamiento de las inferiores.
Elasticidad	El módulo de elasticidad en tracción es más elevado que en compresión. Este valor varía con la especie, humedad, naturaleza de las solicitaciones, dirección del esfuerzo y con la duración de aplicación de las cargas.
Pandeo	El pandeo se produce cuando se supera la resistencia las piezas sometidas al esfuerzo de compresión en el sentido de sus fibras generando una fuerza perpendicular a ésta, produciendo que se doble en la zona de menor resistencia.
Fatiga	Llamamos límite de fatiga a la tensión máxima que puede soportar una pieza sin romperse.
Corte	Es la capacidad de resistir fuerzas que tienden a que una parte del material se deslice sobre la parte adyacente a ella.

Nota. Tomado de Creative commons attribution, 2014.

2.2.5 Propiedades físicas de la madera

Tabla 2

Propiedades físicas de la Madera

PROPIEDAD	DEFINICIÓN
Anisotropía	Es la propiedad general de la materia según la cual cualidades como: elasticidad, temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, etc.
Higroscopicidad	Es la capacidad de la madera para absorber la humedad del medio ambiente.
Densidad	Cuanto más leñoso sea el tejido de una madera y compactas sus fibras, tendrá menos espacio libre dentro de sus fibras, por lo que pesará más que un trozo de igual tamaño de una madera con vasos y fibras grandes.
Hendibilidad³	Es la resistencia que ofrece la madera al esfuerzo de tracción. Transversal antes de romperse por separación de sus fibras.
Dureza	La resistencia al desgaste, rayado, clavado, corte con herramientas, etc., varía según la especie del árbol.
Flexibilidad	Es la capacidad de la madera de doblarse o deformarse sin romperse y retornar a su forma inicial.
Estabilidad	Al secarse la madera pierde humedad hasta alcanzar un equilibrio con el medio ambiente, dependiendo de la humedad ambiental, densidad, escuadría de las piezas, orientación de sus fibras y sección de los anillos, se contraerá en mayor o menor grado durante y mantendrá su forma o se deformará curvándose y rajándose.
Óptica	El color y la textura de la madera son estéticamente agradable, los nudos y cambios de color en algunas maderas realzan su aspecto.
Olor	El aroma de la madera se debe a compuestos químicos almacenados principalmente en el duramen.
Biológicas	La madera es biodegradable, pero lo tanto se pudre y es afectada por insectos, hongos y bacterias que producen un daño permanente, con mayor frecuencia si los niveles de humedad superan el 20%.

Nota. Tomado de Creative commons attribution, 2014.

³ Hendibilidad. Capacidad que tiene la madera para dividirse fácilmente a lo largo de su fibra, sin sufrir daños.

2.2.6 *Pino radiata*

A. Definición

El pino radiata es una especie de conífera originaria de California, Estados Unidos y es ampliamente cultivada en todo el mundo por su madera (Infomadera, 2010).

Figuras 2

Pino radiata



Nota. La figura muestra las semillas del pino radiata. Obtenido de *Consejería del medio ambiente y desarrollo rural*.

B. Características morfológicas

Normalmente presenta un porte en forma cónica, pudiendo alcanzar alturas de hasta 30 metros y un diámetro de tronco de 0. A 1.5 metros. Las hojas son acículas⁵ y largas, miden entre 10 y 15cm (Consejería del medio ambiente y desarrollo rural).

C. Requerimientos ecológicos

- **Clima:** templado o cálido, con temperatura no inferiores a -12°C (Vinuesa, 2013)
- **Precipitaciones:** óptimo entre 800 -1300 mm anuales (Vinuesa, 2013).
- **Suelos:** Silíceos profundos (Vinuesa, 2013).

⁵ Acículas. Forma larga y estrecha, similar a una aguja.

Tabla 3*Descripción taxonómica del pino radiata*

Familia:	Pinácea
Nombre científico:	Pinus radiata
Nombre común	Pino
Nombres comunes:	Pino insigne, pino monterrey

Nota. Adaptado de la ficha técnica N° 13, Pino radiata, CMPC Maderas SpA, 2020.

La madera de pino radiata es extraordinariamente versátil. Se considera de densidad media y posee una textura homogénea. Es fácil de secar y tratar con preservantes, y presenta excelentes propiedades de trabajabilidad, sujeción de clavos, resistencia al rajado y estabilidad dimensional.

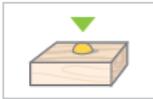
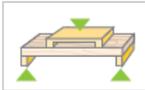
D. Propiedades físicas y mecánicas del pino radiata

Tabla 4*Propiedades físicas del pino radiata*

Densidad aparente	:	12%
Contenido de humedad:		420 – 480 kg/cm ³

Nota. Adaptado de la ficha pino radiata , CMPC Maderas SpA, 2020.

Tabla 5*Propiedades mecánicas del pino radiata*

Dureza Janca	:	3600N	
Módulo de ruptura:		816 kg/cm ²	
Módulo de elasticidad	:	80.558 kg/cm ²	
Resistencia a la compresión:		347 kg/cm ²	

Nota. Adaptado de la ficha pino radiata, CMPC Maderas SpA, 2020.

E. Manejo silvicultura

El manejo implica llevar a cabo tareas de limpieza, poda y raleo, recomendando la realización de tres raleos: el primero a los 7 años, el segundo a los 12 años y el tercero a los 17 años. La poda puede ser realizada junto con el primer raleo (Ecuador forestal, 2013).

F. Turno de corte

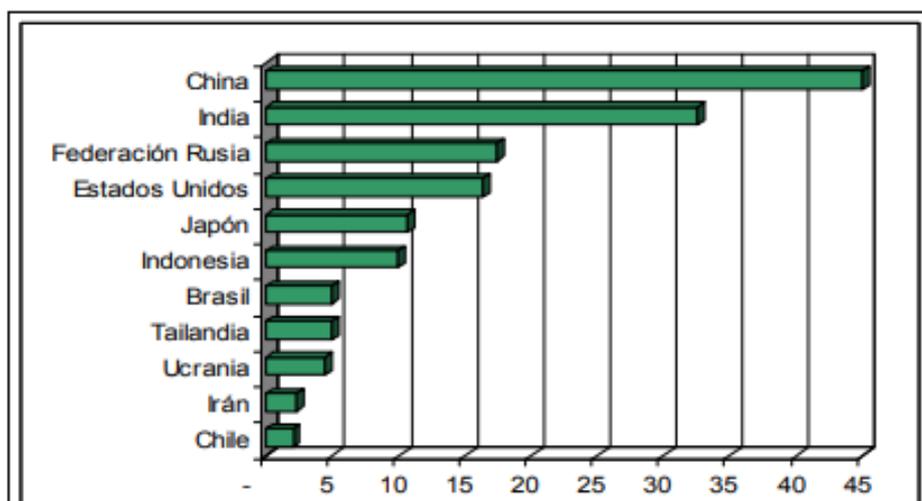
El turno de la especie es de 25 a 35 años, edad adecuada para realizar el corte final (Ecuador forestal, 2013).

2.2.7 La Reforestación con pino radiata

En el ámbito global, se registran más de 186 millones de hectáreas³ de plantaciones forestales, con un 80% de estas áreas localizadas mayoritariamente en once naciones destacadas (Ministerio de Agricultura, 2005).

Figuras 3

Principales países con plantaciones forestales(en millones de hectareas)



Nota. Tomado de FAO, situaciones de los bosques del mundo 2005.

El Perú ocupa el noveno lugar a nivel mundial en extensión forestal y es el segundo en Sudamérica, seguido por Brasil. El patrimonio forestal del Perú se distribuye en sus tres regiones naturales, con singular importancia en cada una de ellas. Las tierras aptas para plantaciones forestales representan un potencial significativo para la generación de riqueza y la protección ambiental, el cual no está siendo aprovechado adecuadamente (Instituto nacional de recursos naturales, 2003).

La reforestación en el Perú se inició en el año 1870 con la introducción de las especies de eucalipto en la Sierra, por iniciativa de las empresas mineras (Ministerio de Agricultura, 2005).

Posteriormente, en el año 60, con el respaldo del Banco Interamericano de Desarrollo, se promovieron las plantaciones forestales a través de un programa crediticio forestal. Esto llevó a la creación de las primeras 56,000 hectáreas hasta el año 1974. Posterior a ese período, se prosiguió con las plantaciones mediante diferentes modalidades de financiamiento, como contratos cooperativos, inversión, trabajo y crédito (Ministerio de Agricultura, 2005).

En 1980, se estableció el canon de reforestación para reponer los árboles extraídos del bosque por parte de los extractores forestales. Este canon se financió con sus contribuciones y tuvo como objetivo principal la regeneración de los recursos forestales. Esta iniciativa llegó a

su conclusión en el año 2000 con la promulgación de la Ley N° 27308, conocida como la Ley Forestal y de Fauna Silvestre (Ministerio de Agricultura, 2005).

La presente labor de reforestación está siendo llevada a cabo por el sector privado y diversas instituciones públicas. Actualmente, se ha logrado una extensión de 824,310 hectáreas de bosques sembrados a lo largo del país, mayoritariamente con especies de eucalipto y pino (Ministerio de Agricultura, 2005).

En Cajamarca se llevaron a cabo plantaciones de pino en 10,000 hectáreas, las cuales se distribuyeron de acuerdo a los cuadros siguientes.: (Reforestadora Amazonica, 2019).

Tabla 6

Plantaciones en la Granja Porcon

Especie	Área (ha)
Pinus patula	4194.82
Pinus radiata	473.58
Pinus muricata	534.18
Pinus montezumae	454.97
Pinus pseudostrobus	440.17
Pinus greggil	80.36
Área total	6 178.08

Nota. Especies de pinos en Cajamarca, tomado de Reforestadora Amazonica,2019.

Tabla 7

Plantaciones en Adefor

Especie	Área (ha)
Pinus patula	2384.09
Pinus radiata	1361.03
Pinus muricata	10.50
Pinus pseudostrobus	65.88
Área total	3821.50

Nota. Especies de pinos en Cajamarca, tomado de Reforestadora Amazonica,2019.

2.2.8 *Madera Laminada*

A. Definiciones

La madera laminada es un componente estructural, formado por láminas unidas que ofrecen resistencia y estabilidad superiores a la madera maciza. Al mismo tiempo, posibilita la creación de espacios únicos, en especial debido a su capacidad para cubrir grandes distancias sin necesidad de soportes intermedios (Arauco, 2023).

La madera laminada destaca por su unión de estética y tecnología, lo cual la hace un material ideal en la construcción tanto de espacios amplios como reducidos. Su combinación de propiedades físicas, mecánicas y resistencia sísmica la convierten en una excelente opción (Maderera andina, 2023).

La madera laminada es ideal para construir estructuras complejas y darles un aspecto en elegancia y singularidad. Por eso, este material ha obtenido un lugar indiscutible en la creación de 'espacios singulares', lo que ha impulsado el surgimiento de una industria altamente especializada y personalizada. En cuanto a otro aspecto, la madera laminada está adquiriendo importancia en la construcción de viviendas, por lo tanto, el reto radica en el aumento de la producción normal (Maderera andina, 2023).

B. Historia de los orígenes y primeros usos de la madera laminada en el mundo

La madera laminada encolada comenzó a utilizarse a principios de este siglo cuando Karl Friedrich Otto Hetzer (1846 – 1911) de Weimar (Alemania) obtuvo la primera patente para este innovador método de construcción. La patente Suiza de 1901 se centraba en vigas rectas formadas por múltiples láminas unidas con adhesivo. Las primeras aplicaciones de este sistema se remontan al año 1890 en la construcción del edificio del Reichstag en Berlín, donde se utilizaron vigas de 10 metros de longitud (Andreas Jordahl, 1999).

Figuras 4

Edificio del reichstag en Berlin



Nota. El edificio del Reichstag se encuentra en el barrio del Tiergarten, en el distrito Mitte de Berlín, capital de Alemania.

En 1906, Hetzer obtuvo una patente en Alemania para la construcción de piezas curvas de madera laminada, marcando el inicio del desarrollo de arcos de madera (RHUDE, 1996).

Sus patentes se extendieron a varios países Europeos y en su catálogo de 1922 se incluía una relación de los países en los que el método había sido utilizado: Alemania, Austria – Hungría, Bélgica, Checoslovaquia, Dinamarca, España, Inglaterra, Finlandia, Francia, Holanda, Italia, Noruega, Suecia y Suiza (Andreas Jordahl, 1999).

La compañía Otto Hetzer A. G. Se estableció en 1901 e incorporaba a los tres hijos de Hetzer: Karl Paul, Walter Ernst y Otto Alfred (Andreas Jordahl, 1999).

El sistema de Hetzer para la fabricación de madera laminada comenzó a ganar reconocimiento, y en la exposición mundial de 1910 en Bruselas recibió dos premios (Andreas Jordahl, 1999).

El país donde este producto tuvo un desarrollo espectacular fue Suiza. En 1920, más de 200 edificios contaban con vigas o arcos de tipo Hetzer (Andreas Jordahl, 1999).

C. Madera laminada en américa

Max Hanisch, llegó a ser pionero en la introducción de la tecnología de la madera laminada en los Estados Unidos de América. Se alió con Hetzer en la firma de Weimar en 1906,

ahí adquirió conocimientos sobre tecnología. En 1911 inició su carrera como proyectista (Andreas Jordahl, 1999).

Durante la Primera Guerra Mundial, su enfoque se desvió hacia la construcción de fábricas para el Departamento de la Guerra Alemán. Emigró a los Estados Unidos en 1923 con la intención de colaborar con los Hetzer en la promoción de la madera laminada en América. Sin embargo, al no conseguir financiación, decidió regresar a su labor en la arquitectura y la ingeniería. Introdujo varias novedades en las técnicas de construcción, desarrollando materiales resistentes al fuego y revestimientos exteriores. Principalmente, implementó un sistema de cubiertas en forma de arcos (Guirao, Arquitectos de arcos, puentes romanos, 2019).

2.2.9 Tipo de laminado para la fabricación de madera laminada

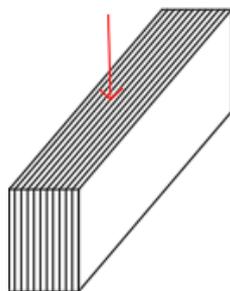
Los elementos de madera laminada se componen de varias láminas dispuestas en paralelo al eje del elemento. En su turno, las láminas están formadas por una o más tablas de madera unidas de canto, cuya fibra es paralela al largo de la pieza. Por consideraciones de secado y eficiencia económica, se ha determinado que el grosor de las láminas no debe ser menor a 19 mm, ni exceder los 50 mm (Perez Galaz, 1992).

A. Laminación horizontal

Cuando las láminas son paralelas al plano neutro de flexión del elemento. (Perez Galaz, 1992).

Figuras 5

Laminación horizontal.

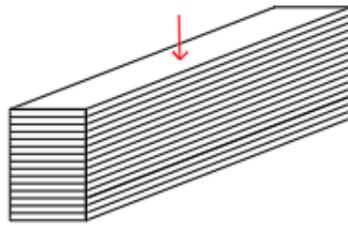


Nota. Adaptada de *manual de madera laminada*, Pérez Galaz, 1992.

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

Figuras 6

Laminación vertical.



Nota. Adaptada de *manual de madera laminada*, Pérez Galaz, 1992.

2.2.10 Ventajas y desventajas de la madera laminada

A. Ventajas de la madera laminada

Las grandes ventajas de la madera laminada encolada para uso constructivo-estructural con respecto a la madera maciza (solo aserrada) son:

1. El adhesivo posibilita el empleo de tablas cortas y estrechas que, al unirse de forma eficiente, tienen la capacidad de conformar piezas estructurales de cualquier grosor, longitud, anchura y forma ilimitada (Perez Galaz, 1992).
2. El grosor de las tablas, siendo menor de 50 mm, posibilita un secado eficaz de la madera hasta alcanzar el nivel de humedad deseado (previo a su uso), minimizando así los defectos de secado y preservando la integridad de la estructura (Perez Galaz, 1992).
3. El proceso de fabricación posibilita emplear láminas de menor calidad en áreas de baja resistencia, lo cual resulta en ahorros económicos, y utilizar madera de mayor calidad únicamente en las zonas de mayor esfuerzo. Asimismo, se puede emplear combinaciones de diversas especies (Perez Galaz, 1992).
4. La madera laminada permite crear elementos que combinan funcionalidad y arte, permitiendo que la sección transversal varíe según los esfuerzos que el elemento debe soportar. El elemento finalizado no requiere estar escondido ni tener una caja de ubicación, a diferencia de otras construcciones; esto se debe a que es estéticamente atractivo (Perez Galaz, 1992).
5. Sus impresionantes dimensiones en la sección transversal la convierten en una estructura más resistente al fuego que los edificios de acero (Perez Galaz, 1992).
6. Los elementos laminados poseen una baja relación peso-resistencia, lo que permite que sean fácilmente levantados y puestos en uso a un costo reducido (Perez Galaz, 1992).

B. Desventajas de la madera laminada

1. Comparadas con la madera sin laminar, se observan diferencias significativas. Son más costosas, especialmente en vigas rectas; en vigas curvas no hay comparación. El aspecto económico incluye 3 categorías: Adhesivo, Mano de Obra y Madera. Lo más costoso es la madera; luego, tenemos el adhesivo y la mano de obra (Perez Galaz, 1992).
2. El porcentaje de pérdida durante la fabricación es significativamente alto, oscilando entre un 33% y un 50%, ya sea en madera o adhesivos. Esto se debe a las conexiones en los extremos, los acabados y las consideraciones de diseño (Perez Galaz, 1992)
3. El adhesivo debe estar condicionado al uso que se le dará al elemento. Por consiguiente, los adhesivos destinados a aplicaciones en exteriores suelen tener un precio elevado (Perez Galaz, 1992).
4. Se precisan mano de obra especializada y técnicas especializadas para la fabricación de equipos (Perez Galaz, 1992).
5. No se pueden producir siempre en la obra, lo que conlleva un costo adicional por transporte. A veces, este costo puede ser elevado, sobre todo cuando los elementos son de gran tamaño (Perez Galaz, 1992).
6. Elementos de gran longitud y gran curvatura son difíciles de manejar, embarcar y transportarlo que influye en el costo final del elemento (Perez Galaz, 1992).

2.2.11 Adhesivo para la madera laminada

En la producción de madera laminada, los adhesivos son imprescindibles para unir las láminas de madera y así garantizar una estructura sólida y resistente. Hay tres clases principales de adhesivos que se distinguen por su resistencia a la humedad y a las condiciones ambientales:

- Clase WBP (Water Boil Proof): Estos adhesivos están diseñados para resistir condiciones extremas de clima y contacto con agua caliente. Normalmente, se elaboran a partir de resinas fenólicas de formaldehído y ciertas variedades de formaldehído de urea, las cuales son ideales para su uso en ambientes exteriores exigentes (Infomadera, 2018; UNE, 2013).
- Clase BR: Estos adhesivos presentan una buena resistencia ante las inclemencias del tiempo y el agua hirviendo. Sin embargo, no resultan óptimos para exposiciones prolongadas a condiciones rigurosas. Un ejemplo es el adhesivo de melanina-formaldehído, que se utiliza en exteriores menos rigurosos (AITIM, 2018; UNE, 2013).

- Clase MR (Moisture Resistant): Esta categoría incluye adhesivos de urea-formaldehído, que funcionan bien en condiciones de humedad moderada, pero fallan en entornos de exposición al agua hirviendo. Los adhesivos pueden curarse a temperatura ambiente, mientras que otros requieren calor para obtener una mayor resistencia (Infomadera, 2018).

A. Condiciones de servicio

Según el Instituto Nacional de Normalización (INN) en 2013. Estos ayudarán a determinar el tipo de adhesivo a usar.

1. **Servicio seco:** La madera laminada no estará expuesta a la humedad ni a la lluvia (Instituto Nacional de Normalización, 2013).
2. **Servicio húmedo:** La madera laminada estará expuesta a la humedad, pero no sumergida en agua (Instituto Nacional de Normalización, 2013).
3. **Servicio exterior:** La madera laminada estará expuesta a la intemperie, incluyendo lluvia, sol y cambios de temperatura (Instituto Nacional de Normalización, 2013).

B. Tipos de adhesivos:

1. **Tipo I:** Diseñado para resistir cualquier condición de servicio, incluso en ambientes húmedos y exteriores, es apto para estructuras que necesiten máxima resistencia y durabilidad (Instituto Nacional de Normalización, 2013).
2. **Tipo II:** Es apto para elementos estructurales que estarán expuestos a condiciones de servicio secas (I) o húmedas (II). Sin embargo, no es adecuado para entornos exteriores. Proporciona un nivel de resistencia y durabilidad satisfactorio para aplicaciones menos exigentes (Instituto Nacional de Normalización, 2013).

Tabla 8*Tipos de adhesivos para uso en diferentes condiciones ambientales*

Tipo de adhesivo	Temperatura del lugar	Equivalencia climática	Ejemplos	Equivalencia/condiciones de servicio
I	>50°C	No especificado	Exposición prolongada 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 intemperie.	1,2

Nota. Tomado del Instituto de Normalización – INN,2013.

2.2.12 Uso de los arcos en la construcción

El arco es uno de los recursos más antiguos en arquitectura, y también uno de los más ingeniosos. Los primeros arcos se construyeron en Mesopotamia. Sin embargo, los verdaderos expertos en esta técnica fueron los romanos. Durante el imperio romano, las arcillas fueron empleadas en la edificación de puentes, acueductos, palacios y monumentos, tales como los arcos del triunfo. (Guirao, Arquitectos de arcos, puentes romanos, 2019).

Figuras 7

Puente romano de Mérida



Nota. El puente tiene una longitud de 790 m y descansa sobre sesenta arcos.

Figuras 8

Acueducto de segovia



Nota. Contrucciones en arco, vista desde los pilares de la arquería del acueducto.

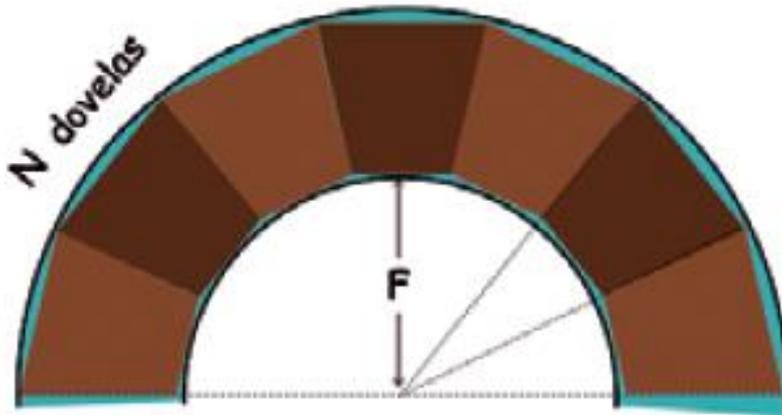
Los arcos pueden soportar grandes pesos encima, incluso si están huecos por debajo. Por eso, con los arcos se pueden construir grandes puentes (Guirao, Arquitectos de arcos, puentes romanos, 2019).

Un arco está conformado por dovelas, piezas de forma trapezoidal que se ensamblan una con otra, semejantes a cuñas. Todas las piezas son esenciales para mantener el arco equilibrado. La última dovela es la más importante, por eso recibe el nombre de clave. La flecha

es la medida vertical desde el suelo hasta la clave. La luz es la anchura del arco. En un arco, las fuerzas verticales se transmiten lateralmente de unas dovelas a otras. Si los arcos están bien contruidos, pueden soportar grandes cantidades de peso (Guirao, Arquitectos de arcos, puentes romanos, 2019).

Figuras 9

Arco romano o de medio punto

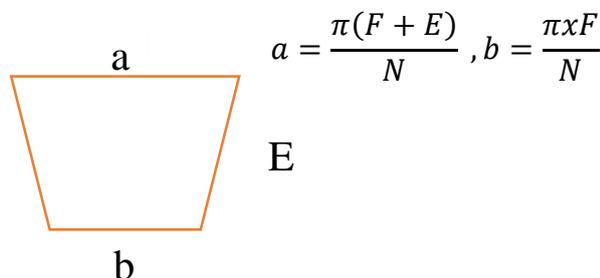


Nota. En la figura se muestra la conformacion de un arco semicircular, mediante dovelas, tomada de Guirao, Arquitectos de arcos, puentes romanos, 2019.

El arco romano posee una forma semicircular y un número impar de dovelas. Matemáticamente, se cuentan con las siguientes fórmulas para calcular las dimensiones (a, b) de las dovelas si el arco tiene N dovelas, flecha F, espesor E (Guirao, Arquitectos de arcos, puentes romanos, 2019).

Figuras 10

Medidas de las dovelas



$$a = \frac{\pi(F + E)}{N}, b = \frac{\pi x F}{N}$$

$$a = \frac{\pi(F + E)}{N}, b = \frac{\pi x F}{N}$$

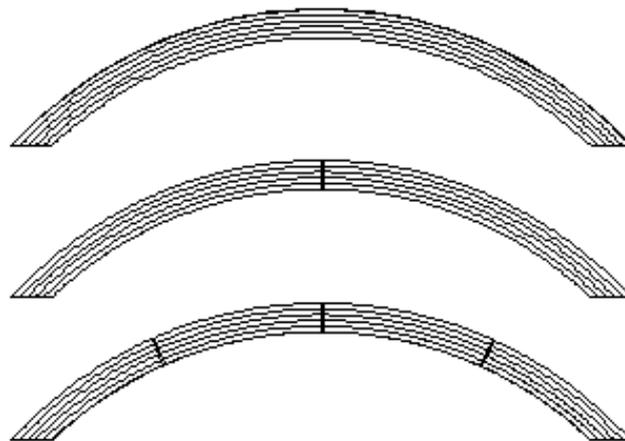
Nota. Tomada de Guirao, Arquitectos de arcos, puentes romanos, 2019.

2.2.13 Vigas laminadas en arco

La gran ventaja del encolado en este tipo de estructuras es que permite la construcción de arcos altamente eficientes a partir de láminas delgadas. Estas son insuperables en términos de delgadez, elegancia y luminosidad. Los elementos son esbeltos, debido a que su forma se asemeja al diagrama de momento flector. Los arcos se diseñan teniendo en cuenta la luz. Se pueden encontrar arcos de una, dos, tres, cuatro o más partes. Siguiendo esta premisa, aquellos con una sola unidad se conocen como arcos biarticulados; mientras que los que tienen dos unidades se denominan triarticulados. En el caso de contar con 3 o 4 partes, se les atribuye la designación de arcos de 3 o 4 secciones, respectivamente (Perez Galaz, 1992).

Figuras 11

Arcos de madera laminada



Nota. La figura muestra arcos estructurados con uniones, tomada del *Manual de madera laminada*, Vicente Pérez Galaz.

2.2.14 Madera maciza

A. Definiciones

La madera maciza de alta calidad es la que se obtiene directamente del tronco del árbol. Es un material orgánico y no generado en procesos industriales. Sus características varían principalmente dependiendo del árbol del que se extraen. Son diversos los colores, texturas, resistencia y durabilidad (Savia, 2021) .

Existen dos tipos de maderas macizas: las que son resistentes y las más delicadas. Las duras, son más costosas debido al crecimiento pausado de los árboles, y se emplean, entre otras

cosas, en la fabricación de muebles con acabados finos. Las maderas de alta dureza incluyen el cerezo, la caoba o el castaño (Savia, 2021).

Las maderas blandas y macizas, tales como el pino o el abeto, provienen de árboles de crecimiento rápido y su precio es más asequible. No obstante, no determina la calidad del material empleado para elaborar los enseres e inmuebles (Savia, 2021).

Cada bloque de madera auténtica es una pieza única. Sus vetas, fisuras, anomalías y señales resaltan su autenticidad. Por tanto, se puede afirmar que no existen dos piezas de madera sólida idénticas. Es más relevante aún que la madera maciza tenga un impacto positivo en todo tipo de desarrollo: su textura es suave, su apariencia y aroma son agradables, y propicia ambientes acogedores para cualquier actividad. (Savia, 2021).

B. Ventajas de la madera maciza

La madera maciza es un recurso renovable en caso de una administración responsable del bosque. Asimismo, la industria de la madera consume significativamente menos energía y emite menos CO₂ en comparación con otras, como la del concreto. Estos factores convierten a la madera maciza en un producto que merece ser tenido en cuenta en las estrategias de construcción sostenible (Savia, 2021).

Por otra parte, es de suma importancia resaltar la dimensión subjetiva del confort. El sutil toque orgánico que aporta a cualquier ambiente es valorado tanto por los arquitectos como por aquellos que disfrutan de los espacios (Savia, 2021).

La madera que ha recibido el tratamiento ignífugo correcto tiene un buen comportamiento frente al fuego. Si se produce un fuego, la superficie se endurece y resguarda el interior. De esta manera cualquier proyecto cumple sus necesidades de seguridad (Savia, 2021).

Además, se reconoce por su cualidad de ser un excelente aislante térmico. Impulsa la estabilidad térmica de las propiedades, lo que lleva a una eficiencia energética superior. En cuanto al aislamiento acústico, la madera se utiliza en salas de conciertos y teatros para reducir el ruido externo y evitar la reverberación (Savia, 2021).

Finalmente, la ligereza de la madera frente a otros materiales es uno de sus beneficios. Más liviana en comparación con otros materiales, la madera destaca por su peso reducido. Esto reduce los costos de transporte y facilita la ampliación de edificios completados (Savia, 2021).

C. Dificultades de construir con madera maciza

Construir con madera puede generar reservas en algunos arquitectos. Las barreras para usar ampliamente este material en un desarrollo son las siguientes. (Savia, 2021):

Falta de experiencia en el uso de la madera maciza. Su implementación requiere investigar e invertir tiempo y dinero para adquirir conocimientos técnicos (Savia, 2021).

El costo de la madera maciza todavía se mantiene por encima de otros materiales. Esto puede conducir al arquitecto a descartarla debido a limitaciones presupuestarias (Savia, 2021).

Temo al deterioro estructural de la madera. La madera tratada de forma adecuada perdura durante décadas y es capaz de soportar eficazmente las condiciones climáticas. Sin embargo, persiste el mito de que es un material poco resistente. (Savia, 2021).

En el uso de madera maciza en exteriores, la luz solar puede provocar decoloración en la superficie. Esto implica que el arquitecto debe planificar el proyecto teniendo esto presente o considerar mantenimientos que implicarán costes adicionales (Savia, 2021).

Al final, uno de los beneficios de la madera es su ligereza en comparación con otros materiales. Esto disminuye los costes de transporte y posibilita la expansión de proyectos de construcción ya completados (Savia, 2021).

D. Vigas rectas macizas

Las vigas de madera maciza mantienen la forma natural del tronco de madera, ya sea tras haber sido cortadas y secadas al aire o en secaderos, pudiendo también recibir tratamientos específicos. Estas vigas son elementos alargados que, al colocarse sobre pilares, posibilitan resistir fuerzas horizontales en construcciones. Es crucial que las vigas de madera maciza se clasifiquen según la resistencia que pueden brindar (Weyerhaeuser, 2017)

Las ventajas de utilizar las vigas de madera maciza en la construcción son muchas. Debemos recordar que la madera es un material natural, renovable y con gran resistencia frente a la acción del fuego, hongos, insectos y al paso del tiempo (Weyerhaeuser, 2017).

Podemos encontrar las vigas de madera macizas en diferentes tipos de construcciones como viviendas individuales, edificaciones, rehabilitaciones de viviendas antiguas, etc (Weyerhaeuser, 2017).

2.2.15 Tipo de uniones en estructuras de madera laminada

En las estructuras de madera laminada, debido a las buenas propiedades del material, en muchas ocasiones se salvan luces importantes y se llevan a cabo complejos diseños, que hace que los esfuerzos que se transmiten entre las piezas de madera sean importantes. Por ellos,

el correcto diseño y cálculo de las uniones entre estas piezas cobra un protagonismo especial (Orrade, 2003).

- **Uniones tradicionales**

Se refiere a uniones de madera a madera donde, a través de una delicada labor de tallado, se logra unir las piezas de madera sin requerir la intervención de otros elementos (a veces es preciso añadir ciertos elementos metálicos para evitar que las piezas unidas se desplacen). Estos son los posibles tipos de ensambles: caja y espiga, y cola de milano. (Orrade, 2003).

- **Uniones mecánicas**

Reciben esta designación las uniones en las que participan herrajes metálicos para la transmisión de esfuerzos. Dos tipos de uniones mecánicas que se pueden encontrar son la unión de clavija y la unión de superficie (Orrade, 2003).

2.2.16 Proceso de fabricación de la madera laminada

- **Madera**

Debe poseer algunas características fundamentales que comprenden:

Resistencia mecánica para soportar cargas estructurales, atractivo aspecto visual, facilidad para ser encolada, resistencia a la humedad y al agua, resistencia natural al entorno, capacidad de secado sin deformaciones y excelente procesabilidad y transformabilidad (Perez Galaz, 1992).

Las coníferas son las especies de madera más comúnmente utilizadas para producir madera laminada, gracias a su fácil acceso, coste reducido y habilidad para satisfacer los requerimientos requeridos. La elección de la madera correcta se basa en las condiciones concretas en las que se emplearán los componentes estructurales hechos de madera laminada, asegurando de esta manera su resistencia y efectividad en diversos contextos y usos (Perez Galaz, 1992).

- **Adhesivo**

El adhesivo desempeña un papel crucial en la unión de láminas, uniendo las caras de las láminas según se requiera, con el objetivo de generar un producto final con propiedades optimizadas y atributos ideales (Perez Galaz, 1992).

2.2.17 Proceso de fabricación de madera laminada

1. Área de pre encolado

- **Almacenamiento.**

Se refiere a la conservación de la madera seca en espacios apropiados, con el fin de preservar su nivel de humedad ideal para cada tipo de elemento. Esto implica diferentes métodos de almacenamiento, adaptados a las necesidades específicas de cada tipo de madera, para mantener su calidad y evitar daños (Perez Galaz, 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 solidas (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 (Perez Galaz, 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 (Perez Galaz, 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 las paredes que puedan cerrarse o abrirse cuando existe humedad o calor en la intemperie (Perez Galaz, 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 (Perez Galaz, 1992).

- **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 nos dice que la clasificación será de manera visual o mecánica (Perez Galaz, 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 (Perez Galaz, 1992)

Clasificación mecánica

Consiste en realizar un ensayo a rotura además de verificar la relación entre el módulo de elasticidad y la deformación (Perez Galaz, 1992).

- ***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 esté en servicio. El aumento del contenido de humedad depende del grosor de las láminas, del tipo de adhesivo, de la especie de madera y de la cantidad de adhesivo distribuido (Perez Galaz, 1992).

El máximo contenido de humedad permitido en el momento del encolado es de 16% con una tolerancia de 3% entre láminas adyacentes y no más de 5% entre el máximo y mínimo (Perez Galaz, 1992).

- ***Uniones de Extremo.***

Estas uniones se realizan para aumentar la longitud de una lámina, pueden ser: de tope, biseladas, dentados, etc (Perez Galaz, 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 de laminación, la norma chilena dice que se podría hacer una unión si el diámetro del nudo es menor que el espesor de lámina (Perez Galaz, 1992).

- ***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, en cambio para laminados en elementos curvos se usa láminas de menor espesor que están relacionados directamente con el radio de curvatura del elemento a diseñar (Perez Galaz, 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 dobléz (Perez Galaz, 1992).

Cepillado de las láminas

Este proceso se realiza una vez que ya se tienen las láminas, se realiza para que al encolar la superficie de la lámina obtengamos una buena unión entre ellas, asimismo también se lo realiza para uniformizar el espesor en toda la longitud de la lámina (Perez Galaz, 1992).

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

- ***Ensamble en seco***

Este proceso consiste en ensamblar las láminas tal y como van a quedar pero en seco, sin adhesivo (Perez Galaz, 1992).

2. Área de encolado, prensado y fraguado

- ***Preparación de Moldes y Prensas.***

Este proceso implica identificar el tipo de elemento a fabricar. Posteriormente, se determinan las herramientas y equipos apropiados para llevar a cabo la fabricación. En este caso, se utilizan moldes, escuadras y prensas (Perez Galaz, 1992).

Para prensar los elementos laminados, existen formas para hacerlo, como son el prensado vertical (para elementos rectos y curvos) y prensado horizontal (para elementos rectos) (Perez Galaz, 1992).

- ***Preparación de Adhesivo.***

Es el proceso que requiere preparar el adhesivo según las indicaciones del fabricante. La cantidad a utilizar dependerá del tipo de adhesivo, la especie a encolar y sus características (Perez Galaz, 1992).

- ***Esparcido***

Consiste en aplicar el adhesivo de forma uniforme sobre la superficie de la lámina a utilizar. Este proceso se puede realizar con brochas, rodillos manuales, pistolas o esparcidoras mecánicas (encoladoras). Este último método es el más eficiente, ya que distribuye el

pegamento de manera uniforme en menos tiempo y de manera más rentable. Se sugiere distribuir el adhesivo en; 250 - 450 gr/m² (Perez Galaz, 1992).

- ***Prensado***

Las láminas, una vez encoladas, se colocan en las prensas de acuerdo con las instrucciones del ensamblado en seco. A continuación, se realizará el ajuste de las prensas empleando la llave de torque u otra herramienta apropiada. (Perez Galaz, 1992).

El prensado puede comenzar en cualquier punto y avanzar hasta los extremos. El prensado se lleva a cabo siempre y cuando el adhesivo no haya fraguado (Perez Galaz, 1992).

La presión debe ser suficiente para lograr un flujo uniforme del adhesivo a lo largo de la línea de pegamento. Se sugiere aplicar una presión de 7 kg/cm² para coníferas y de 10 kg/cm² para latifoliadas (Perez Galaz, 1992).

- ***Reapriete***

Este procedimiento se ejecuta al aplicar nuevamente presión a las prensas. Se lleva a cabo cuando estas han perdido presión. En un principio, se realiza tras 15 a 20 minutos de la primera ajustada, principalmente debido al deslizamiento del adhesivo. Con el paso del tiempo, se observará una disminución en la presión y se realizará un nuevo apriete. Este ciclo se repetirá cuantas veces haga falta (Perez Galaz, 1992).

- ***Tiempo de prensado.***

Es el procedimiento en el que el elemento ensamblado se mantiene en el molde, bajo presión durante un período de tiempo específico y en las condiciones ambientales del lugar; de esta forma, las líneas de pegamento se solidifican y adquieren una Resistencia óptima. Este periodo de prensado es sugerido por los fabricantes e instituciones de investigación (Perez Galaz, 1992).

Se suele aplicar calor a las líneas de cola para acelerar el tiempo de prensado, para ello existen dos métodos: Por alta frecuencia y mediante voltaje (Perez Galaz, 1992).

- ***Maduración.***

Una vez retirado el elemento de la prensa, comenzará la etapa de maduración. Esta fase implica inmovilizar el elemento en el lugar y condiciones ambientales apropiados. Durante este período determinado, el adhesivo adquirirá su máxima resistencia. Este proceso podría extenderse entre una a dos semanas, dependiendo del tipo de adhesivo y la temperatura ambiente (Perez Galaz, 1992).

3. Área de terminaciones

- **Elaboración.**

Una vez que la cola haya fraguado en el elemento, se procede a cortar las puntas que no serán parte del elemento (despunte). Luego, se hace el limpiado del adhesivo que se escurrió durante el prensado (cepíllado). Y finalmente, se pulen la superficie mediante lijado (pulido). Este procedimiento se llevará a cabo de acuerdo a como corresponda (Perez Galaz, 1992).

- **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 (Perez Galaz, 1992).

- **Tolerancias**

Las tolerancias que establece la norma chilena NCh 2148 en el producto terminado son (Perez Galaz, 1992).

Tabla 9

Tolerancias en aristas para el producto terminado.

ANCHO	
+/- 2mm	
ALTURA	
+ 1%; -0.5% con un máximo de 3 mm	
LONGITUD	
L < 6 m	+/- 2 mm
L > 6 m	+/- 0.03 %

Nota. Tomado del *Manual de Madera Laminada*, Pérez 1992

- **Curvatura y rectitud**

Es aplicable a la terminación del elemento, ya sea éste 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 chilena NCh 2148 tenemos (Perez Galaz, 1992).

Tabla 10

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.

Nota. Tomada de Manual de Madera Laminada, Pérez 1992

- ***Ortogonalidad de la sección transversal***

Se refiere al ajuste de la escuadra con la cara inferior o superior del elemento laminado y midiendo la desviación de la cara vertical respecto a la escuadra. La tolerancia admisible debe ser de +- 1% de la altura especificada (Perez Galaz, 1992).

- ***Clasificación.***

Es la clasificación por aspecto que se realiza en las superficies de las caras del elemento laminado terminado. La norma chilena NCh 2148 establece las categorías específicas para una clasificación basada en aspectos (Perez Galaz, 1992).

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 situaciones en las que la apariencia es crucial. Son apropiados para ser pulidos y barnizados. (Perez Galaz, 1992).

Cada elemento debe mostrar sus caras cepilladas. Los daños y manchas en las superficies no necesitan ser mejorados. Las láminas exteriores deben mantenerse libres de nudos sueltos y agujeros. Se sugiere para aplicaciones en las que el elemento esté visible pero donde el aspecto no sea crucial. No se aconseja pulir o barnizar. (Perez Galaz, 1992).

El elemento de esta clase se utiliza tal como sale de la prensa. Los daños y manchas en las caras no necesitan ser mejoradas. Se sugiere en situaciones donde el elemento permanece fuera de la vista. (Perez Galaz, 1992).

- ***Protección y Preservación.***

Los elementos laminados deben ser cubiertos adecuadamente con sustancias perseverantes que eviten la absorción de agua. Esta protección es necesaria de manera obligatoria, y aún más si el elemento estará expuesto a las inclemencias del tiempo. Hay dos métodos para proteger los laminados (Perez Galaz, 1992).

Tratamiento después del encolado. Es un método económico, sin embargo, menos seguro ya que las líneas de cola podrían bloquear la penetración del conservante en el interior del elemento (Perez Galaz, 1992).

Preparación de las láminas antes de ser encoladas. Es un procedimiento más caro, sin embargo, es muy confiable, ya que se realiza en cada hoja con cuidado y se asegura una absorción óptima de la sustancia. Luego de esto, se vuelve a cepillar, secar y finalmente pegar (Perez Galaz, 1992).

La decisión sobre el método de protección y conservación dependerá de las condiciones ambientales a las que esté expuesto el elemento laminado. Se aconseja también el uso de alguna sustancia retardante del fuego. (Perez Galaz, 1992).

- ***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 (Perez Galaz, 1992).

2.3 Base normativa en el desarrollo de la investigación

2.3.1 Base normativa para determinar las Propiedades físicas de la madera

Normas técnicas peruanas NTP 251.010, NTP 251.011

1. Ensayo para determinar el contenido de humedad (ch)

Objetivo:

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

Importancia:

Determinar el contenido de humedad es fundamental para asegurar la calidad, durabilidad y seguridad de la madera en diversas aplicaciones.

Equipos:

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

Procedimiento:

- *Preparación de la muestra:* seleccionar una muestra representativa de la madera, con las dimensiones adecuadas.

- *Pesaje inicial:* registrar el peso inicial de cada una de las muestras.
- *Secado en la estufa:* colocar las muestras en la estufa a la temperatura de $101^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.
- *Pesaje final:* registrar el peso final de cada una de las muestras.

Calculo :

Ecuación 01

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

Donde:

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

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

2. Ensayo para determinar la Densidad (d)

Norma Técnica Peruana NTP 251.011.

Importancia:

Es importante determinar la densidad de la madera ya que nos ayudara a clasificar según su especie, calidad, comportamiento y su uso en diferentes aplicaciones.

Equipos:

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

Procedimiento:

- Preparar la muestra; libre de defectos y con dimensiones exactas, por recomendación se tomara 3 medidas para lograr mayor precisión, estas medidas se promedian y se calcula el volumen de cada muestra.
- Medir las muestras en la balanza de precisión.
- Introducir las muestras en la estufa por 24 horas.
- Registrar el peso de las muestras después de sacarlos de la estufa.

Calculo:

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:

Ecuación 02

$$DB = \frac{mA}{VB}$$

Donde:

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

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

2.3.2 Base normativa para determinar las propiedades mecánicas de la madera

Norma técnica peruana NTP 251.017

1. Ensayo para determinar el esfuerzo a flexión

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 radiata, para este proceso se usa la Norma Técnica Peruana NTP 251.017.

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

Carga en el límite de proporcionalidad (Plp)

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)

Ecuación 03

$$F_{b,f} = \frac{3P_{lp}L}{2bh^2} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

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 04

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

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 05

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

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)

δ_{lp} : Deflexión en el límite de proporcionalidad (cm)

Deformación unitaria (Du)

Ecuación 06

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

Donde:

δ : Deflexión (cm)

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

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

2. Ensayo para determinar el esfuerzo de corte paralelo a la fibra

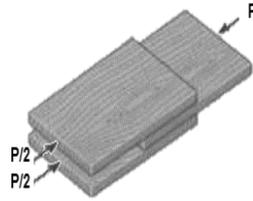
Para determinar el esfuerzo de corte paralelo a la fibra, de probetas macizas y encoladas de madera de pino radiata, para este proceso se usa la Norma Técnica Peruana NTP 251.013 y la teoría del doble esfuerzo de corte del libro de Mecánica de Materiales de R. C. Hibbeler 3 edición.

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, Mecánica de materiales, 2003).

Figuras 12

Esquema de ensayo de doble esfuerzo cortante paralelo a la fibra.



Nota. Tomado de Hibbeler, Mecanica de materiales, 2003.

Doble esfuerzo de corte (τ_d)

Ecuación 07

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

Esfuerzo de corte simple (τ)

Ecuación 08

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

Donde:

P : Carga de rotura (kg)

A : Área de corte (cm^2)

2.3.3 Base normativa para elaboración y estudio de madera laminada encolada

A. Requisitos de inspección

Se usara la Norma Chilena NCh 2148 of 2013

Para cumplir con los requisitos mininos se tomara en cuenta la etapa de elaboración de la madera laminada, y específicamente el contenido de humedad y la resistencia al esfuerzo de corte en la línea de encolado.

Contenido de humedad: la norma indica que el rango es de 8 – 15%.

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/cm²)

B. Clasificación visual de la madera aserrada para la fabricación de láminas

Esta clasificación es muy importante porque ayudara a determinar el grado de la madera aserrada que se usara para la construcción de las vigas laminadas, el método a usar será el método de la clasificación visual.

Según la Norma Chilena NCh2150 of 89:

- 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.

C. Esfuerzos admisibles para la madera laminada encolada estructural

Se usara la Norma Chilena NCh 2165 of 91

- **Esfuerzos admisible de flexión: (NCh 2165 of 91)**

Ecuación 09

$$F_{f,i} = k \cdot (RR_{f,i}) \cdot F_{b,f,i}$$

Donde:

$F_{f,i}$: Esfuerzo admisible de flexión para madera laminada

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

$RR_{f,i}$; razon de resistencia en flexion para grado i

$F_{b,f,i}$; Esfuerzo básico en flexión, esfuerzo en LPE (tabla 6, o usar el esfuerzo calculado en ensayo) (kg/cm², MPa).

Tabla 11

Esfuerzos básicos a utilizar en el cálculo de las tensiones admisibles de elementos laminados

LAMINACION HORIZONTAL					
Grado	Flexión F_{b,f}; mpa	Cizalle F_{b,cz}; mpa	Tracción normal F_{b,tn}; mpa	Compresión normal F_{b,cn} mpa	Módulo de elasticidad F_{L,b,x}; mpa
A	19	1.3	0.43	2.8	11000
B	19	1.3	0.43	2.8	9000

Nota. Tomado de la Norma técnica Chilena NCh 2165 of 91

- **Razón de resistencia en flexión (RR_f)**

La ubicación de los nudos en la madera laminada horizontalmente tiene un impacto significativo en su resistencia.

Los nudos en sus capas exteriores afectan negativamente la resistencia que aquellos ubicados en capas interiores, cerca del plano neutro de flexión.

El efecto de los nudos en la resistencia de la madera laminada es influenciada por su tamaño y posición respecto al plano neutro, y la mejor manera de medir este impacto es a través de los momentos de inercia, que ofrecen una evaluación más completa y precisa del efecto de los nudos en la resistencia de la madera.

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

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

Donde:

Ecuación 10

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

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.

N: número de láminas (n=2N); N=n/2

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

Tabla 12

Datos para evaluar la razón IK/IG

Madera aserrada destinada a la fabricación de laminas				
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

Nota. Tomada del Instituto Nacional de Normalizaciones –INN,1991

- **Esfuerzo admisible en cizalle, según Nch 2165**

Ecuación 10

$$F_{cz} = (RR_{cz}) \cdot F_{bcz}$$

F_{cz} : Esfuerzo admisible de cizalle

RR_{cz} : Razón de resistencia para cizalle posee un valor igual a la unidad

- **Módulo de elasticidad admisible (E_L)**

Ecuación 11

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

El módulo de elasticidad admisible corresponde al 95% del módulo de elasticidad básico.

D. Esfuerzos de diseño para madera laminada encolada

- **Esfuerzo de diseño en flexión**

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

$$F_{f,dis} = F_{adm} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_V \cdot K_{AV} \text{ (MPa)}$$

$F_{f,dis}$: Esfuerzo admisible en flexión (MPa)

F_{adm} : Esfuerzo admisible en flexión, determinada según NCh 2165

K_H : Factores de modificación por contenido de humedad

K_D : Factores de modificación por duración de carga

K_V : Factores de modificación por volumen

K_{AV} : Factores de modificación por volcamiento

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

Ecuación 12

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

Donde:

f_f : Esfuerzo de trabajo en flexión MPa

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

W_m : Modulo de flexión de sección transversal, rectangular:

$$W_m = \frac{b \times h^3}{6} \text{ (mm)}$$

- **Esfuerzo de trabajo a cizalle longitudinal**

Ecuación 13

$$f_{cz} = \frac{1.5 \cdot Q}{b \cdot h} \text{ (MPa)}$$

Q : Esfuerzo de corte máximo (N)

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

a. Factores de modificación:

- **Factor de modificación por volumen K_v :** es aplicable solo a la tensión admisible de flexión en vigas que funcionan en laminación horizontal.

Ecuación 14

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

L: Longitud de la viga entre puntos de inflexión de momentos. (m)

H: altura de la sección transversal (mm)

B: ancho de la sección transversal

- **Factor de modificación por volcamiento K_K :**

Todos los elementos estructurales sometidos a flexión deben estar apoyados lateralmente en sus extremos con el propósito de impedir desplazamientos laterales y rotacionales en torno al eje axial (Nch 1198). Se acepta que:

- a) $K = 1$, para elementos estructurales solicitados en flexión que no tienen apoyos laterales a lo largo de su luz, siempre que la razón formada por la altura, h, de la viga y su ancho, b, no excede el valor 2.

- **Factor de modificación por contenido de humedad, KH**

Se aplica el factor de modificación siguiente: $KH=(1-\Delta H-\Delta R)$

Donde:

- KH = factor de modificación por humedad, aplicable a las tensiones admisibles y módulo elástico.
- ΔH = diferencia entre el valor de CH de servicio y 12%
- ΔR = variación de la resistencia por cada 1% de variación del contenido de humedad (tabla N°8).

Tabla 13

Variación de las propiedades resistentes para una variación de humedad = 1%

Tensión admisible o módulo elástico	Variación de resistencia para ΔR	
	Especies en general	Pino radiata
Flexión	0.0205	0.0250
Compresión paralela	0.0205	0.0480
Tracción paralela	0.0205	0.0250
Compresión normal	0.0267	0.0330
Cizalle	0.0160	0.0150

Nota. Tomada de la Norma Chilena Nch 1198 of 2006

b. Deformaciones admisibles en vigas simples

Tabla 14

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

TIPO DE VIGAS	Deformaciones máximas admisibles considerando		
	Exclusivamente sobrecarga	peso propio sobrecarga	mas
Viga de piso	-	-	
Construcciones en general	-		L/300
Pasarelas peatonales	-		-
con cielos enyesados o similares	L/360		L/400

Nota. Tomada de Norma Chilena NCh 1198 of 2006

- **Deformación o flecha instantánea(δ_{inst})**

Para viga bi – apoyada

Ecuación 15

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

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)

2.3.4 Base de cálculo según manual de diseño para maderas del grupo andino –

Padt-Refort

- **clasificación visual**

La regla de clasificación PADT – REFORT es un método para clasificar la madera según su resistencia y durabilidad, se basa en la evaluación de los defectos y características de la madera, como presencia de nudos, grietas, torceduras y deterioro por insectos u hongos (refort, 1984).

Padt – refort proporciona una guía para los constructores para seleccionar la madera adecuada para cada aplicación, asegurando la seguridad y durabilidad de las estructuras de madera (refort, 1984).

Tabla 15*Padt- Refort/Junac (1984)*

DEFECTOS	TOLERANCIAS
Abarquillado	Se permite en forma leve, no mayor de 1% del ancho de la pieza.
Arista faltante	Se permite en una sola arista, las dimensiones de la cara y el canto (espesor) donde falta la arista deberán ser por lo menos $\frac{3}{4}$ de las respectivas dimensiones con la arista completa.
Arqueadura	Se permite 1 cm. por cada 300 cm. de longitud de la pieza o su equivalente: $h/L \leq 0.3\%$
Bandas anchas de paranquima	No se permiten en piezas que van a estar sometidas a esfuerzo de compresión.
Duramen quebradizo	No se permiten.
Encorvadura	Se permite 1 cm. por cada 300 cm. de longitud de la pieza o su equivalente: $h/L \leq 0.3\%$
Escamadura	No se permite en las aristas. Se permiten en las caras si es paralela al eje de la pieza de una profundidad menor que $\frac{1}{10}$ del espesor y una longitud no mayor que $\frac{1}{4}$ de la longitud total
Fallas de compresión	No se permiten.
Grano inclinado	Se permite hasta una inclinación de $\frac{1}{8}$ en cualquier parte de la pieza.
Grietas	Se permiten con distribución moderada. La suma de sus profundidades, medidas entre ambos lados, no debe exceder un $\frac{1}{4}$ del espesor de la pieza.
Manchas	Se permiten con un diámetro máximo de 2 cm. o de $\frac{1}{8}$ del ancho de la cara de la pieza, el que sea menor, máximo por 1 metro.
Medula inclinada	No se permiten
Nudos arracimados	No se permiten

Nudo hueco	Se permite con un diámetro máximo de 2 cm. o de un 1/8 del ancho de la cara de la pieza, el que sea menor máximo 1 metro.
Nudo sano	Se permite con un diámetro máximo de 4 cm. o de ¼ de ancho de la pieza, el que sea menor, máximo por 1 metro
Perforaciones grandes	Se permite cuando una distribución es moderada y superficial máximo 3 agujeros en 100 cm. no pasantes no aliagas
Perforaciones pequeñas	Se permite cuando una distribución es moderada y superficial y cubren una zona menor que ¼ de la longitud total de la pieza máximo 6 agujeros en 100 cm ² no pasantes ni alineados.
Pudrición	No se permiten
Rajadura	Se permite solo en uno de los extremos y de una longitud no mayor del ancho de la cara de la pieza
Torcedura	Se permite en una sola arista. Su magnitud no debe ser mayor que 1/300 de la longitud de la pieza.

Nota. Tomada de PADT- REFORT/JUNAC (1984)

- ***deflexiones máximas admisibles:***

Ecuación 16

$$\Delta_{max} = \frac{L}{k}$$

Tabla 16

Deformaciones admisibles en vigas de madera

Carga actuante	Con cielo raso de yeso	Sin cielo raso de yeso
cargas permanentes + sobrecargas	L/300	L/250
sobrecarga	L/350	L/350

Nota. Tomada del Manual de diseño para maderas grupo andino

- *Esfuerzo maximo admisible a flexión (Ef_m) y módulo de elasticidad*

Ecuación 17

$$\sigma_{ADM} = \frac{(F.C) \times (F.T)}{(F.S) \times (F.D.C)} \times \sigma_R$$

Donde:

σ_R = Modulo de rotura o esfuerzo de rotura

F.C = Factor de reducción por calidad

F.T = Factor de reducción por tamaño

F.S = Factor de reducción por seguridad

F.D.C = Factor de duración de carga

Tabla 17

Factores para el cálculo de esfuerzos admisibles

	Tracción	flexión	Compresión paralela	Corte paralelo	Compresión perpendicular
F.C	0.80	0.80	-	-	-
F.T	0.90	0.90	-	-	-
F.S	2.00	2.00	1.60	4.00	1.60
F.D.C	1.15	1.15	1.25	-	-

Nota. Tomada del Manual de diseño para maderas del grupo andino – Padt Refort.

Tabla 18

Según la densidad básica

GRUPO	DENSIDAD (gr/cm²)	BASICA
A	>0.71	
B	0.56 a 0.70	
C	0.40 a 0.55	

Nota. Tomada de la Norma E 0.10 Madera.2014.

Tabla 19*Según el módulo de elasticidad para maderas*

GRUPO	MODULO DE ELASTICIDAD (E) Mpa	
	E mínimo	E promedio
A	9 316 (9500)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5394 (55 000)	8 826 (90 000)

Nota. Manual de diseño para maderas del grupo andino.**Tabla 20***Según los esfuerzos admisibles para maderas*

GRUPO	ESFUERZOS ADMISIBLES Mpa (kg/cm ²)				
	Flexión	Tracción paralela ft	Compresión paralela fc//	Compresión perpendicular Fc	Corte paralelo fv
A	20.6 (210)	14.2 (145)	14.2 (145)	3.9(40)	1.5(15)
B	14.7 (150)	10.3 (105)	108 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)
C	9.8 (100)	7.3 (75)	7.8 (80)	1.5 (15)	0.8 (8)

Nota. Tomada del Manual de diseño para maderas del grupo andino.

- **Momento de inercia necesario por limitación de deflexiones**

Ecuación 18

$$\Delta_{max} = \frac{5WL^4}{384EI} < \frac{L}{k}, \text{ entonces } I > \frac{5WL^3k}{384EI}$$

 Δ_{max} = Deflexión máxima para viga simplemente apoyada.

W = Carga total

E = Modulo de elasticidad

I =Modulo de inercia

L = Luz de la viga

- **Módulo de sección Z necesario por resistencia**

Ecuación 19

$$Z_{necesario} > \frac{M}{f_m}$$

- **Dimensiones de la sección**

De acuerdo a la tabla, propiedades de escuadrías, se obtiene las dimensiones de la sección que satisfagan las solicitaciones de momento de inercia y módulos necesario.

CAPITULO III. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1 Ubicación geográfica de los bosques de pino radiata

Para la realización de este estudio se obtuvo la madera de los bosques de pino radiata ubicado a 30 kilómetros de la ciudad de Cajamarca, a unos 55 minutos por vía terrestre, a 3448 msnm.

Figuras 13

Ubicación geográfica del proyecto a nivel de departamento



Nota. Muestra la ubicación del departamento Cajamarca en territorio peruano, INDECI, 2024.

Figuras 14

Ubicación geográfica del proyecto, a nivel provincial



Nota. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Figuras 15

Ubicación local de los bosques de la extracción de madera, Granja Porcon



Nota. Muestra la ubicación exacta del bosque de la empresa Chilon, en la localidad de la Granja Porcon.

Figuras 16

Universidad Nacional de Cajamarca – laboratorio de materiales de construcción.



Nota. Ubicación exacta del laboratorio de materiales, donde se realizaron los ensayos de las vigas de madera.

3.2 Metodología y desarrollo de la investigación

3.2.1 Tipo de investigación

Investigación aplicada, descriptivo busca generar conocimiento con aplicación directa basándose en la resistencia a flexión para dos tipos de vigas.

Investigación es experimental, se realizara los ensayos en el laboratorio de materiales, con el fin de obtener resultados, con enfoque cuantitativo.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población de estudio

Madera pino radita obtenida en el centro poblado de Porcon alto, de las plantaciones de los bosques de la Empresa CHILON. Cuyas coordenadas UTM son las siguientes:

Este : 763439.60

Norte : 9220634.24

3.3.2 Muestras

Los especímenes de madera según la norma técnica peruana son fabricadas y ensayadas a la flexión en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Tabla 21

Numero de probetas ensayadas en el estudio con sus respectiva NTP

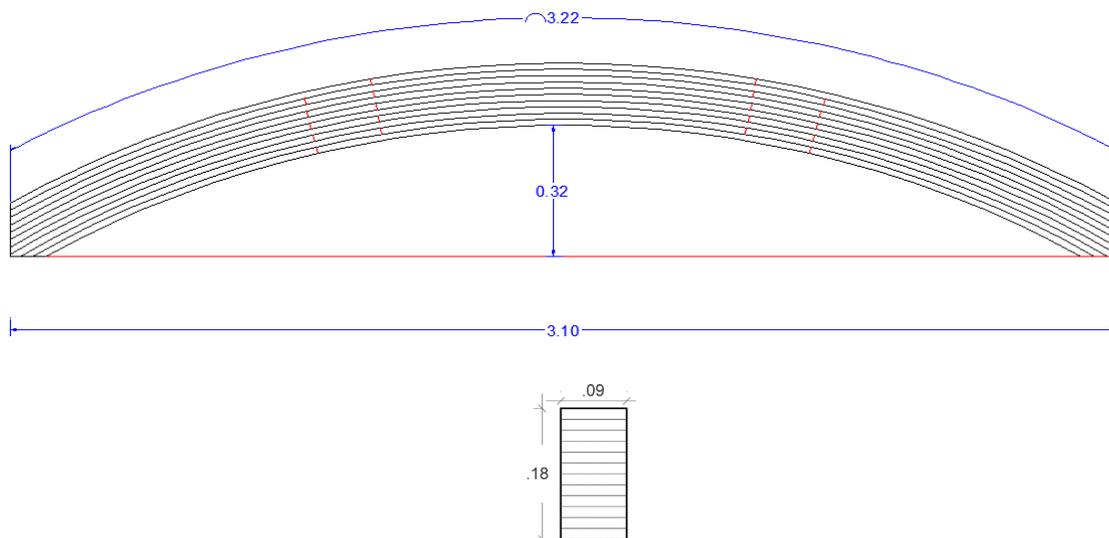
Tipo de ensayo	Cantidad de muestras	Norma técnica peruana
Flexión estática en vigas macizas rectas	05	NTP 251.107.2004
Flexión estática en vigas laminadas en forma de arco	05	NTP 251.107.2004

3.4 Unidad de análisis

Para el estudio se realizó la construcción de 05 vigas laminadas en arco y 05 vigas macizas rectas, el proceso constructivo tuvo sus limitaciones según los materiales existentes en la ciudad de Cajamarca, las dimensiones de la maquina universal de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Figuras 17

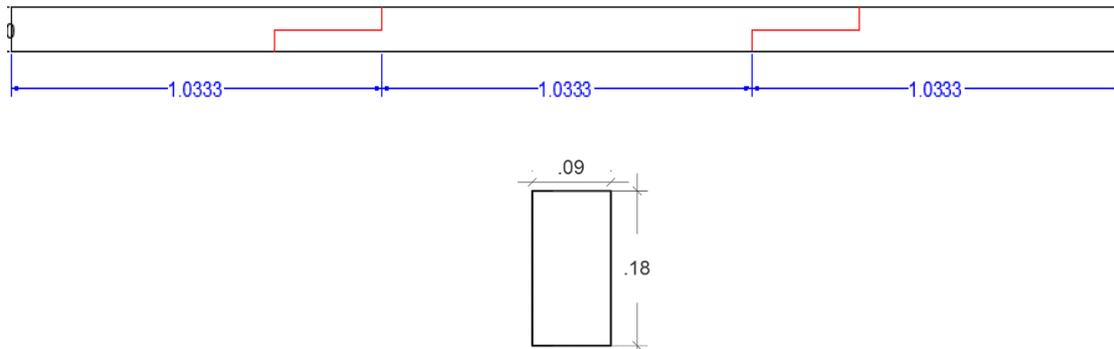
Vigas laminadas en forma de arco, con uniones a media madera



Nota. Vista longitudinal de la viga laminada en arco.

Figuras 18

Viga maciza recta



Nota. Vista longitudinal de las vigas rectas macizas.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se realizó una revisión exhaustiva de la bibliografía relacionada con el tema de estudio, lo que permitió sistematizar la información y extraer los puntos claves que servirán de base teórica para el desarrollo del presente estudio.

Para la recolección de datos se utilizaron herramientas como cuaderno de notas, fichas de observación y formatos específicos. Los datos obtenidos incluyeron mediciones dimensionales de las probetas, deformaciones observadas, tipo de falla presentada y carga máxima aplicada.

3.6 Análisis e interpretación de resultados

Los resultados se presentaron de manera organizada en tablas, cuadros y gráficos, luego se sometieron a un análisis y discusión en función de los objetivos del estudio, la hipótesis y el marco teórico para extraer conclusiones relevantes.

3.7 Equipos y materiales

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

Materiales:

- Madera de pino radiata

3.8 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

3.8.1 Determinación de las propiedades físicas de la madera

Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad de la madera se determinó aplicando la norma técnica peruana NTP 251.010, según la NTP 251.104 – Madera aserrada el contenido de humedad debe estar entre el 10% - 22%. La tolerancia para este contenido de humedad promedio debe ser de $\pm 2\%$. También se tomó en consideración la Norma Chilena NCh2148 of 89 donde establece que los rangos para el contenido de humedad para unir las láminas deben estar entre el 8% - 15%.

Se extrajo 20 muestras para determinar el contenido de humedad, se registra el peso de cada de probeta utilizando la balanza electrónica antes de someterse a un proceso de secado en la estufa durante 24 horas. Una vez completado este proceso se vuelven a registrar los pesos de las probetas y mediante los cálculos específicos se obtiene el contenido de humedad de cada una de ellas.

Tabla 22

Cuadro de análisis de resultados de contenido de humedad antes de secar al horno.

Cod.prob	CH (%)	Cod.prob	CH (%)	CH Promedio (%)
Viga 01	45.1	Viga 06	39.3	
Viga 02	44	Viga 07	46.2	
Viga 03	35	Viga 08	47.8	40.3 %
Viga 04	36.9	Viga 09	33.6	
Viga 05	42.5	Viga 10	32.6	

Tabla 23

Cuadro de análisis de resultados de contenido de humedad después de secar al horno y al aire libre durante 3 meses.

Código	Peso húmedo (gr)	peso seco (gr)	Cont. De humedad (ch%)	CH % promedio
CHd-1	52	45.3	14.79	
CHd-2	46.1	40.1	14.96	
CHd-3	53.1	46.4	14.44	
CHd-4	59.3	51.7	14.70	
CHd-5	54.4	47.4	14.77	
CHd-6	55.7	48.7	14.37	
CHd-7	49.1	42.6	15.26	
CHd-8	46.3	40.2	15.17	
CHd-9	51	44.2	15.38	
CHd-10	53.2	46.6	14.16	
CHd-11	48.9	42.5	15.06	14.75
CHd-12	48.3	42.1	14.73	
CHd-13	48.1	41.8	15.07	
CHd-14	48.7	42.5	14.59	
CHd-15	50.9	44.4	14.64	
CHd-16	49.2	42.8	14.95	
CHd-17	54.5	47.7	14.26	
CHd-18	47.7	41.5	14.94	
CHd-19	51.1	44.6	14.57	
CHd-20	49.7	43.5	14.25	

Determinación de la densidad

Para calcular la densidad en la madera se procedió de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 251.011. La densidad de la madera se realizó después de secar la madera en el horno, según la norma.

Se extrajo 20 muestras para determinar la densidad, se realizan mediciones precisas en cada una de sus aristas, recomendándose un mínimo de tres mediciones por probeta para asegurar una mayor exactitud. Posteriormente se calcula el promedio de estas mediciones y se determina el volumen de cada probeta. Luego se registra el peso de cada de probeta utilizando la balanza electrónica antes de someterse a un proceso de secado en la estufa durante 24 horas. Una vez completado este proceso se vuelven a registrar los pesos de las probetas y mediante los cálculos específicos se obtiene la densidad básica de cada una de ellas.

Tabla 24

Ensayo densidad básica

CODIGO	Vol. Saturado cm3	Peso anhid. (gr)	Densidad (gr/cm3)	Dens.Prom.
DB-1	102.86	45.3	0.44	
DB-2	98.87	40.1	0.41	
DB-3	99.41	46.4	0.47	
DB-4	98.58	51.7	0.52	
DB-5	101.5	47.4	0.47	
DB-6	101.81	48.7	0.48	
DB-7	100.69	42.6	0.42	
DB-8	101	40.2	0.4	0.441
DB-9	101.25	44.2	0.44	
DB-10	102.62	46.6	0.45	
DB-11	101.81	42.5	0.42	
DB-12	97.84	42.1	0.42	
DB-13	101.81	41.8	0.41	
DB-14	99.67	42.5	0.43	
DB-15	97.52	44.4	0.46	
DB-16	99.11	42.8	0.43	
DB-17	99.9	47.7	0.48	
DB-18	103.42	41.5	0.4	
DB-19	101.75	44.6	0.44	
DB-20	101.01	43.5	0.43	

3.8.2 Determinación de las propiedades mecánicas de la madera

Determinación de flexión estática

Es la resistencia de la viga a una carga central, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad.

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

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

Se extrajeron 20 muestras de especímenes con las siguientes medidas 5 x 5 x 75 cm, según estipula la norma, fueron ensayadas y se calculó el esfuerzo a flexión promedio.

Tabla 25

Resultado Del Ensayo Flexión Estática De Probetas

PROPIEDADES MECANICAS PROMEDIO	
TRAMO 1	TRAMO 2
Carga en LPE (Plp) : 427.500 Kg	Carga máxima : 711.500 Kg
Esfuerzo en LPE : 358.97 Kg/cm ²	Esfuerzo maximo : 597.485 Kg/cm ²
Deformación en LPE : 0.7345 cm	Deformación en LR : 2.4690 cm
Deformación unitaria en LPE: 0.004462	Deformación unitaria en LR : 0.015121
Módulo de elasticidad :	86339.634 Kg/cm ²
$MOE = \frac{P_{lp}L^3}{4bh^3\delta_{lp}}$	

3.8.3 Determinación del esfuerzo de corte paralelo a la fibra

El propósito de este ensayo se realizó para calcular el esfuerzo de corte promedio de la madera, cuyo 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 determinar el esfuerzo de corte paralelo a la fibra se siguió el procedimiento establecido por 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.

Este ensayo se realizó con tres tipo de probetas:

- Probetas de madera maciza
- Probeta de madera encolada en tres elementos
- Probetas de madera encolada en seis elementos.

Tabla 26

Esfuerzo De Corte Paralelo A La Fibra

ENSAYO	CÓDIGO	Fb,cz,d (kg/cm2)	Fb,cz (kg/cm2)
Esfuerzo de corte paralelo a la fibra en probetas macizas	CMM-prom	84.78	42.39
Esfuerzo de corte paralelo a la fibra - probetas de madera encolada en tres elementos	CME-prom	69.74	34.87
Esfuerzo de corte paralelo a la fibra - probetas de madera encolada en seis elementos	CVL-prom	74.13	37.06

3.8.4 Determinación de propiedades para la elaboración y estudio de la madera

laminada encolada

1. Requisitos e inspección

Esta etapa se desarrolló para cumplir con los requisitos exigidos por la norma Chilena NCh 2148 of 2013, donde se controló el contenido de humedad, para la elaboración de madera laminada encolada.

- ***Contenido de humedad:***

El contenido de humedad para ensamblar las láminas de madera deberá estar entre los rangos de 8 % - 15%.

- **Resistencia de la línea de cola al esfuerzo de corte**
 - Esfuerzo de corte para probetas de madera maciza promedio $\tau_{CMM} = 42.39$ Kg/cm²
 - Esfuerzo de corte para probetas de madera encolada en tres elementos promedio $\tau_{CME} = 34.87$ Kg/cm²
 - Esfuerzo de corte para probetas de madera encolada en seis elementos promedio $\tau_{CVL} = 37.066$ Kg/cm²

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/cm³ se acepta un valor de resistencia al corte de 4 MPa (40.7886 Kg/cm²)

3.8.5 Clasificación visual de madera aserrada

Esta clasificación se realizó con el fin de determinar la calidad de la madera aserrada para ser utilizada para la construcción de vigas macizas y las vigas laminadas en arco y también sirvió para calcular los esfuerzos admisibles en el diseño de las vigas.

Clasificación visual de madera usada en la fabricación de vigas laminadas en forma de arco.

Se seleccionaron las láminas de madera aserrada seca, que fueron utilizadas para fabricar las vigas láminas en forma de arco, se procedió a visualizar los nudos presentes en ellas, las cuales se realizaron cortes en las partes donde los nudos eran muy grandes, seleccionándolas para tener mejor calidad de las láminas, luego se unieron en 3 piezas con uniones a media madera y así quedar una sola pieza de láminas y proceder a medir los nudos presentes; según la Norma Chilena NCh 2150 of 89 (Apéndice C, tabla C 1).

Clasificación visual de madera aserrada usada en la fabricación de vigas macizas rectas

Se seleccionó la madera aserrada seca, que fueron utilizadas para fabricar las vigas macizas rectas, se procedió a visualizar los nudos presentes en ellas, en las partes donde existían nudos muy grandes o tenían fallas de consideración se realizaron cortes, seleccionándolas para

tener mejor calidad de las vigas, luego se unieron en 3 piezas con uniones a media madera y así quedar una sola pieza de viga y proceder a medir los nudos presentes. Según la norma Padt Refort, que establece requisitos para la clasificación visual de la madera aserrada, por lo cual se midió el tamaño de los nudos, se observó las grietas o rajaduras, el color de la madera, etc. (apéndice C, tabla C2).

3.9 Descripción del adhesivo a utilizar

El adhesivo a base de poli acetato de vinilo que se utilizó es cola extra de la marca Tekno, es una cola sintética cuyas características son:

- Es de color blanco
- A base de polivinil acetato en emulsión acuosa.
- Densidad 1.01 – 1.06m/l
- Desarrolla fuerte adherencia, adecuado para la unión de todo tipo de madera.-E gs una cola sintética de secado rápido el cual permite un manejo y montaje rápido de las piezas.(3 – 24 horas) según especificaciones técnicas.
- Puede soportar niveles moderados de humedad sin perder su adherencia.

La ficha técnica del pegamento se encuentra en el (anexo c).

3.10 Diseño de las vigas

3.10.1 Diseño de vigas laminadas en arco

Para realizar el diseño de las vigas laminadas en arco se tuvo las siguientes consideraciones como es: la distancia que está limitada entre los pórticos de la máquina de ensayo, la flecha de la viga en arco que está limitada a la altura entre el pisón y los apoyos.

Inicialmente se determinó los esfuerzos admisibles según la NCh 2165 of 91, luego en base a ellos se determinó los esfuerzos de diseño según la norma chilena NCh 1198 of 2006.

El diseño de la viga laminada en forma de arco se realizó con uniones a media madera en cada lámina para determinar su resistencia con respecto a las vigas macizas.

Para el diseño de la viga laminada en arco se realizó con el esfuerzos admisible de 358.97 kg/cm² y una densidad de 0.441 gr/cm³ obtenidos de los ensayos a flexión de las probetas cuyas medidas son de 5 cm x 5 cm x 75 cm. los cuales sirvieron para calcular los esfuerzos de diseño, con los cuales se diseñaron las vigas laminadas en arco.

- **Pre dimensionamiento de las vigas laminadas en arco**

Tabla 27

Resultados del pre dimensionamiento de las vigas laminadas en arcos

Flecha externa	50 cm
Flecha interna	32 cm
Altura de viga	18 cm
Ancho de viga	9 cm
Longitud de viga	310 cm
Espesor de viga	1.5 cm
Numero de laminas	12 laminas

Nota. El diseño completo de las vigas laminadas en forma de arco se encuentra en el (Apéndice D, tabla D 1).

- **Ecuación matemática para el cálculo de la viga curva**

$$X^2 + Y^2 = R^2$$

Datos:

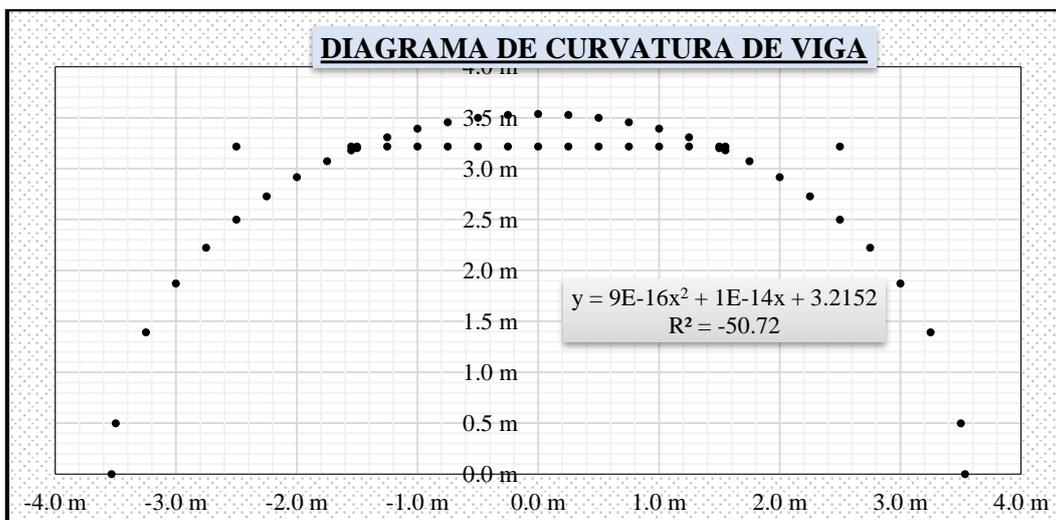
Radio de curvatura media : 3.535 m

Flecha interna : 0.32 m

Longitud de la viga : 3.10 m

Figuras 19

Diagrama de curvatura de la viga en arco



El gráfico muestra la ecuación de la curvatura óptima para vigas laminadas, asimismo se evidencia la flecha máxima para las vigas ensayadas, en estas condiciones geométricas se obtuvo resistencias a flexión máximas.

- **Cantidad de madera utilizada para la construcción de las vigas laminadas en arco**

Tabla 28

Datos de la viga laminada en arco

Datos de la viga	cm	pies
ancho de viga	9	0.3
Alto de viga	18	0.59
Longitud de la viga	310	10.17
Longitud de curva	322	10.56
Espesor de lamina	1.5	0.05

Nota. La tabla muestra las medidas de las láminas para realizar las vigas en forma de arco.

Tabla 29

Calculo de volumen y área de la madera, para las vigas laminadas en arco

	Para 1 viga	Para 5 vigas
Volumen de la viga	1.90 <i>pies</i> ³	9.5 <i>pies</i> ³
Área de la viga	0.177 <i>pies</i> ²	0.885 <i>pies</i> ²

Nota. La tabla muestra la cantidad de madera que se usó para la fabricación de las vigas laminadas en forma de arco.

3.10.2 Diseño de vigas rectas

Para realizar el diseño de las vigas macizas rectas se tomó en cuenta los procedimientos establecidos en el manual de diseño para maderas del grupo andino (padt- refort), y tomando en consideración las características de las vigas laminadas en arco, las cuales tienen las mismas características como el en ancho, la altura, el mismo tipo de uniones y la distancia entre apoyos del pórtico.

Se tomó en cuenta la densidad de 0.441 gr/cm³ y el esfuerzo admisible de 358.97kg/cm², se consideró también una carga muerta adicional de 20 Kg/m² y una sobrecarga de uso de 100 kg/m²(vivienda unifamiliar).

Estas vigas macizas rectas están compuestas por tres bloques de madera los cuales están unidas mediante la unión a media madera para el cual se utilizó pegamento tecno cola y pasadores de 1/2 pulgada hecha del mismo material de madera pino radiata.

- **Pre dimensionamiento de las vigas macizas rectas**

Tabla 30

Datos de la viga laminada en arco

Altura de viga	18 cm
Ancho de viga	9 cm
Longitud de viga	310cm

Nota. La tabla muestra las dimensiones de las vigas macizas rectas, el diseño se encuentra en el (Apendice D 2).

- **Cantidad de madera utilizada para la construcción de las vigas rectas macizas**

Tabla 31

Datos de la viga maciza recta

Datos de la viga	cm	pies
ancho de viga	9	0.3
Alto de viga	18	0.59
Longitud de la viga	310	10.17

Nota. La tabla muestra las dimensiones de las vigas rectas macizas.

Tabla 32

Calculo de volumen y área de la madera, para las vigas laminadas en arco

	Para 1 viga	Para 5 vigas
Volumen de la viga	1.80 <i>pies</i> ³	9 <i>pies</i> ³
Área de la viga	0.177 <i>pies</i> ²	0.885 <i>pies</i> ²

Nota. La tabla muestra la cantidad de madera que se usó para la fabricación de las vigas macizas rectas.

3.11 Flexión estática en vigas laminadas en forma de arco y vigas rectas macizas

Para realizar este ensayo se procede de acuerdo a la norma técnica peruana NTP 251.017, se realizó con las vigas laminadas en forma de arco y vigas macizas rectas, con la finalidad de calcular los esfuerzos y el módulo de elasticidad promedio.

Flexión estática en vigas laminadas en forma de arco

Se construyeron 05 vigas laminadas en forma de arco y fueron ensayadas a flexión.

Tabla 33

Resultados del ensayo a flexión promedio de las vigas laminadas en arco

PROPIEDADES MECANICAS PROMEDIO	
TRAMO 1	TRAMO 2
Carga en LPE (P _{lp}): 2840 kg	Carga máxima : 4712.00 kg
Esfuerzo en LPE: 400.616 Kg/cm ²	Esfuerzo maximo : 715.039 kg/cm ²
Deformación en LPE : 2.330 cm	Deformación en LR : 4.680 cm
Deformación unitaria en LPE: 0.002992	Deformación unitaria en LR : 0.006010
Módulo de elasticidad :	
$MOE = \frac{P_{lp}L^3}{4bh^3\delta_{lp}}$	134929.587 kg/cm ²

Flexión estática en vigas rectas macizas

Se construyeron 05 vigas rectas macizas y fueron ensayadas a flexión.

Tabla 34

Resultados del ensayo a flexión promedio de las vigas laminadas en arco

PROPIEDADES MECANICAS PROMEDIO	
TRAMO 1	TRAMO 2
Carga en LPE (P _{lp}): 640.000 kg	Carga máxima : 1114.00 kg
Esfuerzo en LPE: 95.473Kg/cm ²	Esfuerzo maximo : 166.183 kg/cm ²
Deformación en LPE : 1.296 cm	Deformación en LR : 3.560 cm
Deformación unitaria en LPE: 0.001664	Deformación unitaria en LR : 0.004572
Módulo de elasticidad : 63609.635 Kg/cm ²	$MOE = \frac{P_{lp}L^3}{4bh^3\delta_{lp}}$

3.12 Proceso de construcción de las vigas laminadas en forma de arco y vigas macizas rectas

En este proceso de construcción se describe los siguientes puntos:

Etapa de construcción:

Esta etapa se considera desde el secado de la madera hasta la construcción final de las vigas, los cuales se tomaron en cuenta las normas chilenas para la elaboración de las vigas laminadas en forma de arco y el manual de diseño para maderas del grupo andino (padt- refort).

- ***Aserrado de madera***

Los cortes se realizaron con medidas adicionales de tal manera que con el cepillado se obtengan las medidas finales.

Se cortaron 60 láminas para las vigas laminadas en forma de arco cuyas medidas son, cm de espesor de cada lamina x 10 cm de alto x 3.80 metros de largo.

Para las vigas rectas macizas se cortó de las siguientes medidas para cada viga: 9.5 cm de ancho x 18.5 cm de altura y una longitud de 1.10 metros de largo.

- ***Clasificación visual***

La clasificación visual de las láminas se realizó mediante observación, colocando cada lámina sobre los caballetes y dividiendo en tramos de 30 cm, midiendo los nudos de cada lámina.

Para las vigas macizas rectas, se procedió a verificar mediante la visualización de las vigas según el padt – refort.

- ***Preparación para la construcción de vigas***

Se crearon moldes utilizando tablas y bloques de madera, asegurados con tornillos, pernos y adhesivo, para dar forma al arco según los planos previamente diseñados. Para la construcción de las vigas laminadas en forma de arco se emplearon seis prensas de carpintería y 12 prensas de abrazadera las cuales facilitaron su construcción.

Para las vigas macizas rectas solo se utilizaron prensas tipo abrazaderas en las uniones, y se colocó sobre una superficie plana para evitar deflexiones por peso propio.

- ***Cepillado de la madera***

Este procedimiento se realizó para uniformizar las láminas y todas queden de una sola medida para la construcción de las vigas laminadas y para las vigas macizas rectas.

- 60 láminas para las vigas laminadas encoladas de las siguientes medidas: espesor de las láminas 1.5 cm, 9 cm de altura y una longitud de 3.80 metros.

- Se cepillaron 5 vigas rectas de 9 cm de ancho x 18 cm de altura de x 3.10 m de largo.

- ***Ensamble en seco***

Se realizó para la ubicación de las láminas tal y como quedaría en el molde.

- ***Encolado en las uniones a media madera en láminas y en las vigas macizas***

El proceso de encolado de las láminas se llevó a cabo mediante la aplicación del pegamento con una brocha delgada, asegurando una distribución uniforme del pegamento en las uniones a media madera. Posteriormente se colocaron las abrazaderas para mantenerlas unidas y garantizar una unión sólida, este proceso duro 24 horas.

Para el encolado de las láminas se procedió a colocar el pegamento en las caras de cada lámina.

En las vigas rectas macizas se realizó el mismo procedimiento, colocando el pegamento en las uniones las cuales se prensaron.

- ***Prensado de vigas laminadas y macizas***

Vigas en forma de arco

Se colocaron las láminas en el molde una por una, previamente encoladas, para sujetarlas dobladas se usaron las prensas de carpintero. Este proceso se repitió hasta la última lamina una vez ensambladas se colocaron todas las prensas tipo abrazaderas y se ajustaron los pernos con llave pico de pato.

Vigas rectas

Se colocaron las prensas tipo abrazaderas las cuales ajustaron en las uniones hasta lograr la presión adecuada.

- ***Habilitación final de vigas***

Una vez que el pegamento había fraguado y las vigas habían sido liberadas de las prensas, se procedió a cortar los extremos y a lijar las caras de las vigas hasta alcanzar las dimensiones finales deseadas.

Tabla 35

Medidas de las vigas

Tipo de viga	dimensiones
Vigas laminadas en arco	9 cm x 18 cm x 310 cm
Vigas rectas macizas	9 cm x 18 cm x 310 cm

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados de las propiedades físicas de la madera

4.1.1 Ensayo de contenido de humedad

Tabla 36

Cuadro de análisis de resultados de contenido de humedad antes de secar al horno.

CH% PROMEDIO	DISCUSIÓN
40.30%	Se observa que el contenido de humedad promedio antes de secar en el horno es de: 40.30%. De éste resultado podemos concluir que nos encontramos fuera de los límites recomendado por la norma NCh 2148.Of 89 ,ya que esta norma recomienda que el contenido de humedad para la elaboración de elementos de madera laminada debe encontrarse entre el 8 % - 15%, ya que valores mayores podrían afectar la resistencia. Para controlar este parámetro se procedió a secar la madera en Horno.

Tabla 37

Cuadro de análisis de resultados de contenido de humedad después de secar al horno y al aire libre durante 3 meses.

CH% PROMÉDIO	DISCUSIÓN
14.75 %	Se observa que el contenido de humedad promedio después de secar al aire libre durante tres meses es de: 14.75%. De éste resultado podemos concluir que nos encontramos dentro de los límites recomendado por la norma NCh 2148.Of 89, ya que esta norma recomienda que el contenido de humedad para la elaboración de elementos de madera laminada debe ser menor a 15%. Por lo que podemos decir que la madera está en condiciones adecuadas para ser utilizada en la elaboración de madera laminada.

4.1.2 Ensayo de densidad básica

Tabla 38

Ensayo densidad básica

<i>Densidad promedio</i>	<i>DISCUSIÓN</i>
0.441	Se observa que la densidad básica promedio de las vigas es de: 0.441gr/cm ³ , podemos decir que es una madera liviana y que pertenece al grupo andino C, cuyas densidades varían entre 0.40 – 0.55 gr/cm ³ .

Resultados de las propiedades mecánicas

Tabla 39

Resultado del ensayo flexión estática de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm.

PROPIEDADES MECANICAS PROMEDIO	
TRAMO 1	TRAMO 2
Carga en LPE (Plp) : 427.500 Kg	Carga máxima : 711.500 Kg
Esfuerzo en LPE : 358.97 Kg/cm ²	Esfuerzo maximo : 597.485 Kg/cm ²
Deformación en LPE : 0.734cm	Deformación en LR : 2.469 cm
Deformación unitaria en LPE: 0.004	Deformación unitaria en LR : 0.015

DISCUSIÓN

Éste cuadro presenta el promedio de los datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de las probetas estándar. La Norma Chilena NCh 2165 of 91, indica que los esfuerzos básicos del ensayo a flexión es de 193.746 kg/cm², el resultado obtenido en nuestro ensayo es de 358.97 kg/cm², lo que nos indica que la madera usada tiene mejor comportamiento a flexión que el especificado por la norma.

Tabla 40*Resultados del ensayo a flexión estática en vigas laminadas en forma de arco*

PROPIEDADES MECANICAS PROMEDIO	
TRAMO 1	TRAMO 2
Carga en LPE (Plp): 2840 kg	Carga máxima : 4712.00 kg
Esfuerzo en LPE: 400.616 Kg/cm ²	Esfuerzo maximo : 715.039 kg/cm ²
Deformación en LPE : 2.330 cm	Deformación en LR : 4.680 cm
Deformación unitaria en LPE: 0.003	Deformación unitaria en LR : 0.006

DISCUSIÓN:

Éste cuadro presenta el promedio de los datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de las vigas laminadas en forma de arco, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación se realiza las comparaciones con los resultados de otras investigaciones citados como antecedentes, tenemos a Narvaez, D.(2018), que tiene como resultado el esfuerzo maximo es 738.858 kg/cm², en vigas laminadas en arco, con el resultado de esta investigación el esfuerzo maximo es de 715.039 kg/cm², demostrando que nuestras vigas tienen menor resistencia a la flexión, ya que nuestras vigas presentan uniones a media madera , produciendo fallas en ellas, el tipo de falla es Dúctil.

Tabla 41*Resultados del ensayo a flexión estática en vigas macizas rectas*

PROPIEDADES MECANICAS PROMEDIO	
TRAMO 1	TRAMO 2
Carga en LPE (Plp): 640.000 kg	Carga máxima : 1114.00 kg
Esfuerzo en LPE: 95.473Kg/cm ²	Esfuerzo maximo : 166.183 kg/cm ²
Deformación en LPE : 1.296 cm	Deformación en LR : 3.560 cm
Deformación unitaria en LPE: 0.002	Deformación unitaria en LR : 0.005

DISCUSIÓN:

Éste cuadro presenta el promedio de los datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de las vigas rectas. teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación se realiza las comparaciones con los resultados de otras investigaciones citados como antecedentes, tenemos a Guarniz,C (2020) que tiene como resultado el esfuerzo maximo es 539.26 kg/cm²en vigas macizas de pino, con el resultado de esta investigación el esfuerzo maximo es de 166.183 kg/cm², demostrando que nuestras vigas tienen menor resistencia a la flexión, ya que estas fallaron en las uniones de nuestras vigas, produciendo tipo de falla frágil.

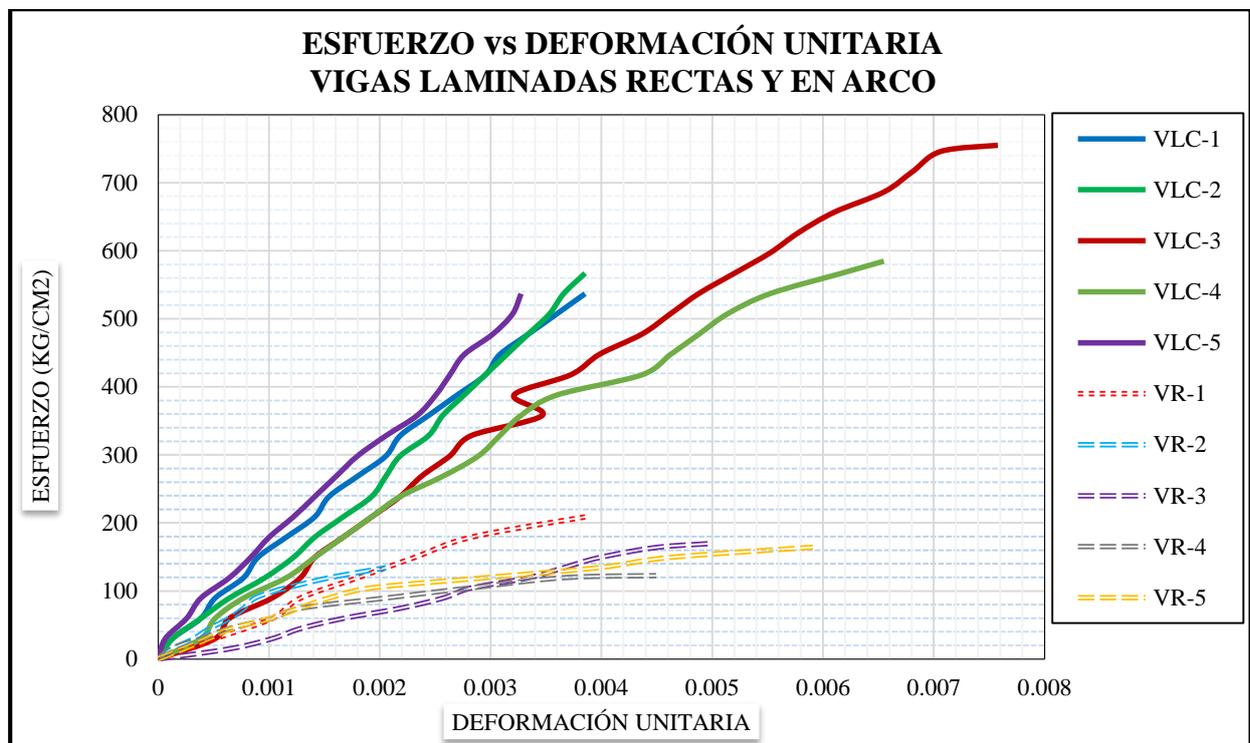
Tabla 42

Análisis de resultados de esfuerzo en límite de rotura en el ensayo de flexión en las vigas.

Interpretación de resultados del ensayo a flexión estática en vigas laminadas en forma de arco y vigas macizas rectas							
Vigas laminadas en arco				Vigas macizas rectas			
Viga	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	Carga máxima(kg/cm ²)	Esfuerzo maximo(kg/cm ²)	Viga	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	Carga máxima(kg/cm ²)	Esfuerzo maximo(kg/cm ²)
VL-01	150330.720	5480.000	831.582	VR-1	64535.915	1400.000	208.848
VLC-2	140478.178	4600.000	698.043	VR-2	102498.218	900.000	134.259
VLC-3	112417.400	5060.000	767.847	VR-3	34849.394	1350.000	201.389
VLC-4	109331.433	3920.000	594.854	VR-4	58082.324	820.000	122.325
VLC-5	162090.205	4500.000	682.868	VR-5	58082.324	1100.000	164.095
PROM	134929.59	4712.000	715.039	PROM	63609.635	1114.000	166.183

Figuras 20

Esfuerzo vs deformación unitaria



DISCUSIÓN:

Se observa en el gráfico las curvas de la parte superior representa al diagrama de esfuerzo vs deformación de las vigas laminadas en arco, y las curvas inferiores representa al diagrama de esfuerzo vs deformación de las vigas laminadas rectas. Se evidencia que la resistencia al esfuerzo a flexión de las vigas laminadas en arco es mayor a las vigas laminadas rectas.

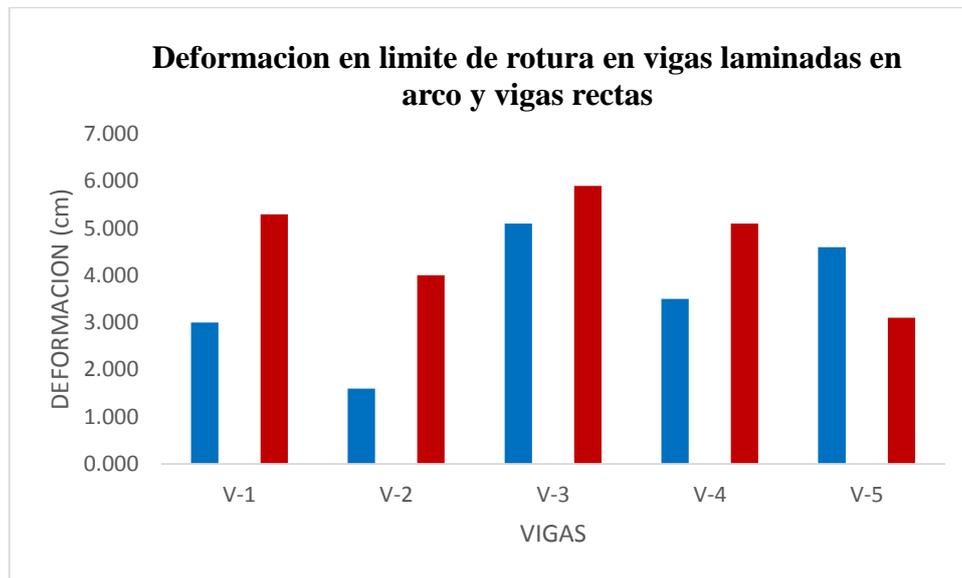
Tabla 43*Análisis de resultados de la deformación unitaria en límite de rotura en las vigas*

Análisis de resultados de la deformación en límite de rotura en el ensayo de flexión en vigas laminadas en forma de arco y vigas macizas rectas

Viga	Vigas laminadas en arco			Viga	Vigas macizas rectas		
	Esfuerzo maximo(kg/cm²)	Deformación en LR (δ LR)(cm)	Deformación unitaria en LR (DuLR)		Esfuerzo maximo(kg/cm²)	Deformación en LR (δ LR)(cm)	Deformación unitaria en LR (DuLR)
VL-01	831.582	5.3	0.006806	VR-1	208.848	3	0.003853
VLC-2	698.043	4	0.005137	VR-2	134.259	1.6	0.002055
VLC-3	767.847	5.9	0.007577	VR-3	201.389	5.1	0.006549
VLC-4	594.854	5.1	0.006549	VR-4	122.325	3.55	0.04495
VLC-5	682.868	3.1	0.003981	VR-5	164.095	4.6	0.005907
PROM	715.039	4.68	0.006010	PROM	166.183	3.56	0.004572

Figuras 21

Deformación en el límite de roturas en las vigas



DISCUSIÓN

En el gráfico las barras de color rojo representan la deformación en el límite de rotura de las vigas laminadas en forma de arco y las barras azules representan la deformación en el límite de rotura de las vigas rectas, con lo que se concluye que la deformación en el límite de rotura de las vigas laminadas en arco es mayor a la deformación en límite de rotura de las vigas rectas.

Tabla 44*Tipos de fallas en las vigas laminadas en arco y rectas macizas*

Análisis de resultados de tipo de falla en límite de rotura en el ensayo de flexión de vigas laminadas en forma de arco y vigas macizas rectas					
Vigas laminadas en forma de arco			Vigas macizas rectas		
Viga	Deformación en LR(δLR cm)	tipo de falla	Viga	Deformación en LR(δLR cm)	tipo de falla
VLC-1	5.3	Dúctil	VR-1	3	frágil
VLC-2	4	Dúctil	VR-2	1.6	frágil
VLC-3	5.9	Dúctil	VR-3	5.1	frágil
VLC-4	5.1	Dúctil	VR-4	3.55	frágil
VLC-5	3.1	Dúctil	VR-5	4.6	frágil
FALLA	4.68		FALLA	3.57	

DISCUSIÓN

Se observa que las vigas laminadas en forma de arco presentan un tipo de falla dúctil, lo que quiere decir que no presenta ruptura repentina, ya que la carga aplicada es gradual y las vigas pueden absorber la energía sin romperse de inmediato.

Las vigas macizas rectas presentan un tipo de falla frágil, lo que quiere decir que presenta una ruptura repentina, ya que la carga aplicada excede la resistencia de la madera.

4.2 Contratación de la hipótesis

De acuerdo a los resultados obtenidos, se rechaza la hipótesis puesto que las vigas laminadas en forma de arco con uniones sometidas a carga central tienen mayor resistencia a la flexión en 4.3 veces más que las vigas rectas macizas con uniones, fabricadas a base de pino radiata.

Tabla 45

Esfuerzo máximo promedio en vigas

<i>Tipo de viga</i>	<i>Esfuerzo máximo promedio (kg/cm²)</i>
Vigas laminada en arco con uniones	715.04
Vigas rectas macizas con uniones	166.18

$$N^{\circ} \text{ veces mayor} = \frac{715.04}{166.18} = 4.3$$

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Las cargas máximas de rotura obtenida de las vigas laminadas en arco con uniones fue de 4712 kg y de las vigas rectas macizas con uniones fue de 1114 kg.
2. Las deformaciones en el límite de ruptura obtenidos de las vigas laminadas en arco fue de 4.68 cm y de las vigas rectas macizas fue de 3.57 cm.
3. El tipo de falla obtenida de las vigas laminadas en arco fue dúctil y de las vigas rectas macizas fue frágil.
4. La resistencia a la flexión de las vigas laminadas en arco es 4.3 veces mayor que la resistencia a la flexión de las vigas macizas rectas, con uniones a media madera de pino radiata, sometidas a carga central.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda a las entidades competentes fortalecer los programas de implementación de reforestación a nivel nacional de pino radiata, especialmente en la región de Cajamarca.
- Realizar investigaciones de vigas laminadas con mayor espesor de laminadas, tipo de madera, diferentes radios de curvatura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- A, P. G. (1992). *Manual de madera laminada*. Santiago - Chile.
- Adler, V., & Peciña, D. (2022). *La madera como material de construcción de viviendas*. Uruguay: Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Obtenido de <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/la-madera-como-material-de-construccion-de-viviendas-cuales-son-sus-beneficios/>
- Aguilar Pozzer, J., & Guzowski, E. (2011). Materiales y materias primas. *Madera*, 3, 27. Buenos Aires, Argentina: INET. Recuperado el MARZO de 2024, de chrome-extension://efainbmnibpcajpcgclcfndmkaj/<https://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/madera.pdf>
- Andreas Jordahl, R. (Marzo de 1999). Historia de los orígenes y primeros desarrollos. Minesota, EE.UU. Obtenido de https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2946_13160.pdf
- Arauco. (05 de Julio de 2023). *Madera laminada, dónde utilizarla en la construcción*. Obtenido de <https://arauco.com/chile/hilam-blog/madera-laminada-donde-utilizarla-en-la-construccion/>
- Araujo, E., & Sanchez, L. (2022). *Resistencia a flexión del eucalipto, pino, cipres y tornillo usadas para la elaboración de vigas laminadas (aditivos cola, laca, lasures y barniz) y macizas en la construcción de viviendas, 2022*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/33924>
- Barrera Peñafiel, L. E. (2017). La incidencia de la estructura en el proceso proyectual arquitectónico. Cuenca, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28123>
- CMPC Maderas SpA. (2020). *FICHA PINO RADIATA*. Obtenido de Propiedades del pino radiata: <https://www.cmpcmaderas.com/Portals/8/assets/pdf/Fichas%20T%C3%A9cnicas/FICHA%20PINO%20RADv2%20b.pdf?ver=2020-04-30-094742-103>
- Consejería del medio ambiente y desarrollo rural. (s.f.). Selvicultura del Pino Insigne. *Cuidados culturales del pino insignie en Austria para producir madera de alta calidad(59), segunda*. AUSTRIAS. Obtenido de Selvicultura del pino insignie:

- https://www.asturias.es/Asturias/descargas/PDF_TEMAS/Agricultura/Politica%20Forestal/manual_selvicultura_pino_insigne.pdf
- Ecuador forestal. (6 de marzo de 2013). *Ficha tecnica de especies forestales*. Obtenido de Ficha tecnica de especies forestales: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-13-pino-pinus-radiata/>
- Galindo Galindo, J. J. (2020). *Determinación de las propiedades mecánicas de las vigas de madera laminada como elementos estructurales*. Cuenca: Universidad de Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34545>
- GeBe Arquitectura . (6 de julio de 2022). *Ventajas y desventajas de la madera*. Obtenido de Linked in: <https://es.linkedin.com/pulse/ventajas-y-desventajas-de-usar-la-madera-en-construcci%C3%B3n->
- Gomes, J. (2012). *Madera laminada, fabricacion y montaje de sistemas estructurales*.
- Guarniz, C. (2020). *Resistencia a flexión del eucalipto, pino, cipres y tornillo usadas para la elaboración de vigas laminadas (aditivos cola, laca, lasures y barniz) y macizas en la construcción de viviendas, 2022*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/24776>
- Guirao, A. (12 de noviembre de 2019). *Arquitectos de arcos, puentes romanos*. Obtenido de <https://www.um.es/phi/aguirao/EntreParticulas/PDF/2019%20nov12.pdf>
- Guzmán , L., & Linares, E. (2023). *WOOD CONSTRUCTION: estructura en madera laminada en la Orinoquia*. Bogotá D.C: Universidad La Gran Colombia. Obtenido de <https://repository.ugc.edu.co/bitstreams/18d3e9a4-1dc4-471b-b5a3-7a28eb93fe00/download>
- Hibbeler, R. (2003). *Mecanica de materiales*. pearsoneducacion,Ed.
- Humanes Ciscal, A. (2017). *Desarrollo de las grandes luces en la arquitectura actual*.
- Hurtado, R. W. (2019). *Análisis paramétrico del comportamiento sísmico de conexiones postensadas en pórticos de madera laminada*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_3620ac8d3117dcc8d8b3be323a6ec1d9
- Infomadera. (25 de Abril de 2010). *Pinus radiata*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Pinus_radiata
- Instituto Nacional de Normalizacion. (2013). *Madera encolada estructural-requisitos metodos de muestreo e inspeccion*.
- Instituto nacional de recursos naturales. (2003). *Centro de informacion forestal*.

- Maderera andina. (17 de Mayo de 2023). *Madera laminada: un material de construcción resistente y sostenible*. Obtenido de <https://maderera-andina.com/madera-laminada-un-material-de-construccion-resistente-y-sostenible/>
- Ministerio de Agricultura. (Diciembre de 2005). *Plan Nacional de Reforestación*. Obtenido de https://www.agrorural.gob.pe/dmdocuments/bnsf/plan_nacional_de_reforestacion.pdf
- Narvaez, D. (2018). *Estudio del comportamiento mecánico de una viga en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Ordoñez, P., & Lugo, Y. (2016). *Estructuras de madera aplicadas al sector de la construcción en el Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6834>
- Orrade, G. (2003). *Uniones en estructuras de madera*. Obtenido de <https://revistas.unav.edu/index.php/revista-de-edificacion/article/view/34784/29887>
- Perez Galaz, V. (1992). *Manual de madera laminada*. INFOR.
- Refort, P. (1984). *Manual de diseño para maderas del grupo andino*. Junta del acuerdo de Cartagena.
- Reforestadora Amazonica. (2019). *Plantaciones forestales en Cajamarca*. Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2019/cajamarca/eer-cajamarca-2019-koechlin.pdf>
- RHUDE, A. J. (1996). *Historia de los orígenes y primeros desarrollos*.
- Savia. (2021). Obtenido de <https://savia.gal/blog/madera-maciza>
- Segura Plaza, B. (29 de Junio de 2016). Maderea. *Que ha sido de la madera maciza*. Obtenido de <https://www.maderea.es/pero-que-ha-sido-de-la-madera-maciza/>
- tropicales, P. a. (s.f.). *Manual de diseño para maderas del grupo andino*. Junta deL acuerdo de Cartagena.
- Vásquez, L. R., Reyes, C., Catalan, J., & Campos, J. (2019). *Caracterización mecánica de vigas I fabricadas con tableros OSB y madera aserrada estructural de Pino radiata*. Chile: INFOR. Obtenido de <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/29197/IT-226.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Vicente, P. G. (1992). *manual de madera laminada*. santiago - Chile.

Vinueza, M. (6 de marzo de 2013). *ECUADOR FORESTAL*. Recuperado el 2023, de Ficha técnica N° 13 Pino (pino radiata): <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-13-pino-pinus-radiata/>

Weyerhaeuser. (30 de Abril de 2017). *Ventajas de diseño de vigas de sección sólida*. Obtenido de <https://www.weyerhaeuser.com/blog/design-advantages-of-solid-section-beams/>

APENDICES

APENDICE A. Propiedades físicas de la madera

TABLA A1.

Contenido de humedad antes de secar al horno.

CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SECAR EN HORNO				
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 HIGROMETRO			3. RESULTADOS OBTENIDOS	
CÓD. PROB.	CONT. DE HUMEDAD (CH%)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	Contenido de humedad promedio (CH%) =	
VIGA 01	45.1	40.3	40.3	
VIGA 02	44		30.83	
VIGA 03	35		5.552376868	
VIGA 04	36.9		13.78 %	
VIGA 05	42.5		4. INTERPRETACION DE RESULTADOS	
VIGA 06	39.3		<i>Se observa que el contenido de humedad promedio antes de secar en el horno es de: 40.30%. 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>	
VIGA 07	46.2			
VIGA 08	47.8			
VIGA 09	33.6			
VIGA 10	32.6			

TABLA A2.

Contenido de humedad después de secar en el horno.

CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SECAR EN HORNO			
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 DE ENSAYOS			
CÓD. PROB.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	CONT. DE HUMEDAD (CH%)
CHd-1	52	45.3	14.79
CHd-2	46.1	40.1	14.96
CHd-3	53.1	46.4	14.44
CHd-4	59.3	51.7	14.70
CHd-5	54.4	47.4	14.77
CHd-6	55.7	48.7	14.37
CHd-7	49.1	42.6	15.26
CHd-8	46.3	40.2	15.17
CHd-9	51	44.2	15.38
CHd-10	53.2	46.6	14.16
CHd-11	48.9	42.5	15.06
CHd-12	48.3	42.1	14.73
CHd-13	48.1	41.8	15.07
CHd-14	48.7	42.5	14.59
CHd-15	50.9	44.4	14.64
CHd-16	49.2	42.8	14.95
CHd-17	54.5	47.7	14.26
CHd-18	47.7	41.5	14.94
CHd-19	51.1	44.6	14.57
CHd-20	49.7	43.5	14.25
3. RESULTADOS OBTENIDOS			
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (H%) =			14.75 %
Varianza (s²) =			0.12
Desviacion Estandar (s) =			0.35
Coficiente de Variacion (CV) =			2.36 %

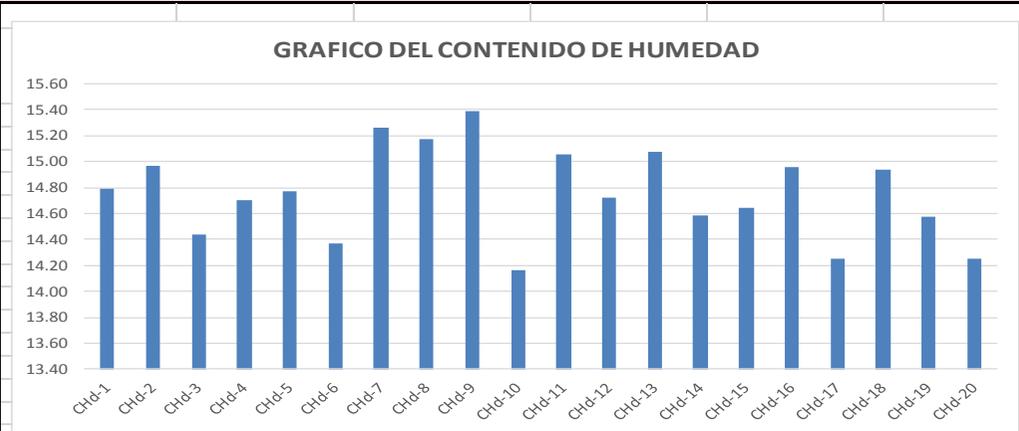
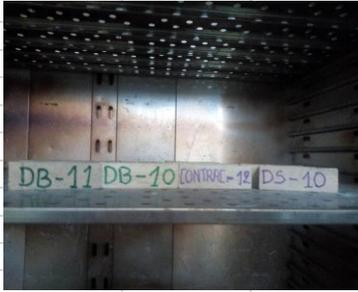
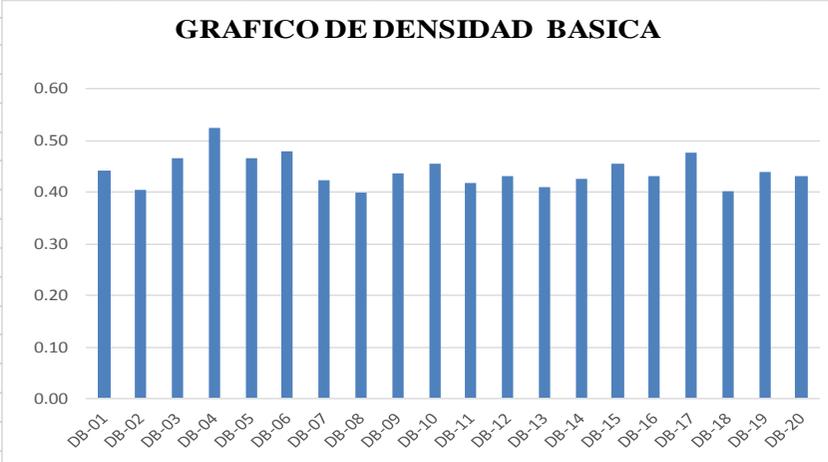


TABLA A3.

Densidad Básica promedio

DENSIDAD BASICA			
			
Probetas antes de meter al horno	pesando las probetas, antes de meter al horno	probetas en el horno.	pesando probetas despues de sacarlo del horno.
2.RESULTADOS OBTENIDOS			
Vol.Satura do cm3	peso anhyd.(gr)	densidad basica	densidad promedio
102.86	45.30	0.44	0.441
98.87	40.10	0.41	
99.41	46.40	0.47	
98.58	51.70	0.52	
101.50	47.40	0.47	
101.81	48.70	0.48	
100.69	42.60	0.42	
101.00	40.20	0.40	
101.25	44.20	0.44	
102.62	46.60	0.45	
101.81	42.50	0.42	
97.84	42.10	0.43	
101.81	41.80	0.41	
99.67	42.50	0.43	
97.52	44.40	0.46	
99.11	42.80	0.43	
99.90	47.70	0.48	
103.42	41.50	0.40	
101.75	44.60	0.44	
101.01	43.50	0.43	
GRAFICO DE DENSIDAD BASICA			
			
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO(CH%) =			0.441
VARIANZA(s2)=			0.00097
DESVIACION ESTANDAR(s)=			0.03
COEFICIENTE DE VARIACION=			7.0682

APENDICE B. Ensayo a flexión de probetas

TABLA B 1.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 01

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-1	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 5.00 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$			$CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
N° 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	50	0.12	42.000	0.000735		
2	100	0.15	84.000	0.000918		
3	150	0.2	126.000	0.001224		
4	200	0.25	168.000	0.001531		
5	250	0.3	210.000	0.001837		
6	300	0.4	252.000	0.002449		
7	350	0.41	294.000	0.002510		
8	400	0.5	336.000	0.003061		
9	450	0.55	378.000	0.003367		
10	500	0.61	420.000	0.003735		
11	550	0.69	462.000	0.004224		
12	600	0.75	504.000	0.004592		
13	650	0.85	546.000	0.005204		
14	700	0.95	588.000	0.005816		
15	750	1.1	630.000	0.006735		
16	800	1.15	672.000	0.007041		
17	850	1.28	714.000	0.007837		
18	900	1.4	756.000	0.008571		
19	950	1.58	798.000	0.009673		
20	1000	1.8	840.000	0.011020		
21	1100	2.5	924.000	0.015306		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
			TRAMO 1		TRAMO 2	
			Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)	546.000 Kg/cm ²		
			Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.005204		
			Modulo de elasticidad (MOE)	104917.647 Kg/cm ²		
			$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$			
			Esfuerzo máximo (f_r)	924.000 Kg/cm ²		
			Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.015306		

TABLA B 2.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 02

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-2	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 5.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$			$CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
N° Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f)	Deformación Unitaria (Du)	<div style="text-align: center;"> GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA </div>	
			$f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	$Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$		
0	0	0	0	0		
1	50	0.2	42.000	0.001224		
2	100	0.3	84.000	0.001837		
3	150	0.4	126.000	0.002449		
4	200	0.6	168.000	0.003673		
5	250	0.7	210.000	0.004286		
6	300	0.8	252.000	0.004898		
7	350	1	294.000	0.006122		
8	400	1.2	336.000	0.007347		
9	450	1.5	378.000	0.009184		
10	500	1.8	420.000	0.011020		
11	550	2.1	462.000	0.012857		
12	600	2.7	504.000	0.016531		
13	650	3.3	546.000	0.020204		
14	680	4	571.200	0.024490		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
TRAMO 1			TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)			336.000 Kg/cm2		Esfuerzo máximo (f_r)	571.200 Kg/cm2
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})			0.007347			
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_{ip}}$			45733.333 Kg/cm2		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.024490

TABLA B 3.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 03

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-3			
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS					
$b = 5.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$			$L = 70.00 \text{ cm}$ $CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ B\u00e1sica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$					
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) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GR\u00c1FICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA			
0	0	0	0	0				
1	50	0.2	42.000	0.001224				
2	100	0.25	84.000	0.001531				
3	150	0.29	126.000	0.001776				
4	200	0.31	168.000	0.001898				
5	250	0.35	210.000	0.002143				
6	300	0.4	252.000	0.002449				
7	350	0.5	294.000	0.003061				
8	400	0.6	336.000	0.003673				
9	450	0.65	378.000	0.003980				
10	500	0.8	420.000	0.004898				
11	550	0.85	462.000	0.005204				
12	600	0.95	504.000	0.005816				
13	650	1.05	546.000	0.006429				
14	700	1.2	588.000	0.007347				
15	750	1.3	630.000	0.007959				
16	800	1.5	672.000	0.009184			4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GR\u00c1FICO	
17	850	1.7	714.000	0.010408			TRAMO 1	
18	900	2.1	756.000	0.012857			TRAMO 2	
19	950	2.5	798.000	0.015306	Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$) 462.000 Kg/cm2			
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE}) 0.005204			
					Modulo de elasticidad (MOE)			
					$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$ 88776.471 Kg/cm2			
					Esfuerzo m\u00e1ximo (f_r) 798.000 Kg/cm2			
					Deformaci\u00f3n unitaria en LR (Du_{LR}) 0.015306			

TABLA B 4.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 04

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-4		
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 5.00 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$				$CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA							
N° Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	Deformacion Unitaria (Du) $Du = 6 x \delta x h x L^{-2}$			
0	0	0	0	0			
1	50	0.2	42.000	0.001224			
2	100	0.3	84.000	0.001837			
3	150	0.35	126.000	0.002143			
4	200	0.4	168.000	0.002449			
5	250	0.5	210	0.003061224			
6	300	0.8	252.000	0.004898			
7	350	1.7	294.000	0.010408			
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO							
TRAMO 1				TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)				168.000 Kg/cm^2		Esfuerzo máximo (f_r)	294.000 Kg/cm^2
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})				0.002449			
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{1p} L^3}{4bh^3 \delta_{1p}}$				$68600.000 \text{ Kg/cm}^2$		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.010408

TABLA B 6.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 06

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-6	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 5.00 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$			$CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
N° Lectura	Carga (P)	Deformación (δ)	Esfuerzo (f)	Deformación Unitaria (Du)	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA 	
	kg	cm	$f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	$Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$		
0	0	0	0	0		
1	50	0.1	42.000	0.000612		
2	100	0.18	84.000	0.001102		
3	150	0.2	126.000	0.001224		
4	200	0.3	168.000	0.001837		
5	250	0.4	210.000	0.002449		
6	300	0.45	252.000	0.002755		
7	350	0.5	294.000	0.003061		
8	400	0.6	336.000	0.003673		
9	450	0.75	378.000	0.004592		
10	500	0.9	420.000	0.005510		
11	550	1	462.000	0.006122		
12	600	1.2	504.000	0.007347		
13	650	1.3	546.000	0.007959		
14	700	1.5	588.000	0.009184		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
TRAMO 1			TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)			336.000 Kg/cm2		Esfuerzo máximo (f_r)	588.000 Kg/cm2
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})			0.003673			
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{1p} L^3}{4bh^3 \delta_{1p}}$			91466.667 Kg/cm2		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.009184

TABLA B 7.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 07

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017 PROBETA: P-7				
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS	
$b = 5.00 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$			$CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ B\u00e1sica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$	
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA				
N° Lectura	Carga (P)	Deformación (δ)	Esfuerzo (f)	Deformación Unitaria (Du)
	kg	cm	$f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm ²	$Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$
0	0	0	0	0
1	50	0.15	42.000	0.000918
2	100	0.35	84.000	0.002143
3	150	0.5	126.000	0.003061
4	200	0.7	168.000	0.004286
5	250	0.9	210.000	0.005510
6	300	1.25	252.000	0.007653
7	350	1.5	294.000	0.009184
8	400	2	336.000	0.012245
9	450	2.55	378.000	0.015612
10	500	3.8	420.000	0.023265
11	520	4	436.800	0.024490
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO				
TRAMO 1			TRAMO 2	
Esfuerzo en LPE (F_{bf})			210.000 Kg/cm ²	
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})			0.005510	
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{ip} L^3}{4bh^3 \delta_{ip}}$			38111.111 Kg/cm ²	
			Esfuerzo máximo (f_r)	436.800 Kg/cm ²
			Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.024490

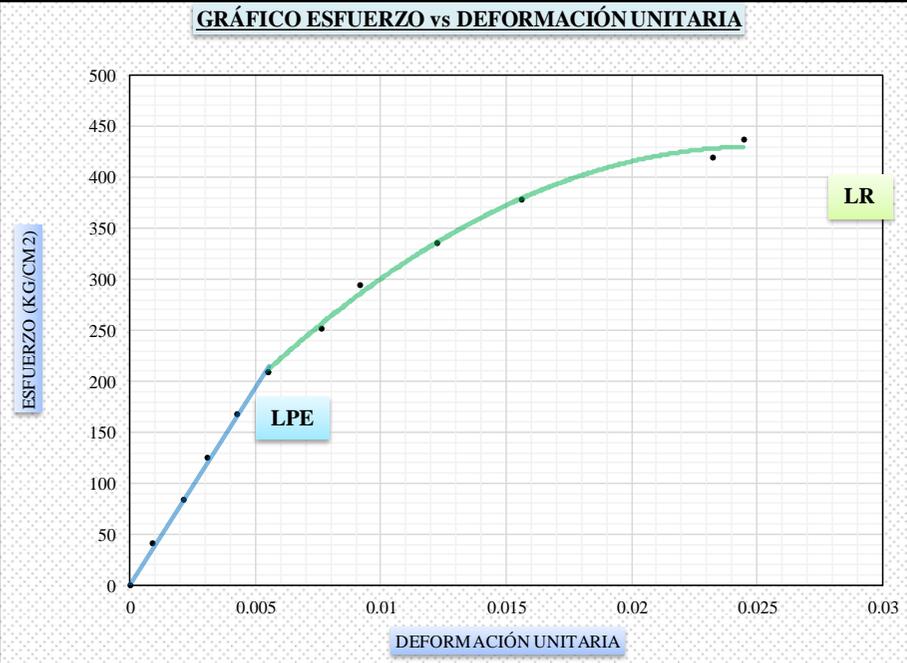


TABLA B 8.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 08

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-8	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 5.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$			$L = 70.00 \text{ cm}$ $CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ B\u00e1sica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$			
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) $Du = \delta \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA	
0	0	0	0	0		
1	50	0.1	42.000	0.000612		
2	100	0.2	84.000	0.001224		
3	150	0.25	126.000	0.001531		
4	200	0.3	168.000	0.001837		
5	250	0.38	210.000	0.002327		
6	300	0.5	252.000	0.003061		
7	350	0.68	294.000	0.004163		
8	400	0.95	336.000	0.005816		
9	450	1.3	378.000	0.007959		
10	500	1.5	420.000	0.009184		
11	550	1.85	462.000	0.011327		
12	600	2.45	504.000	0.015000		
13	650	2.9	546.000	0.017755		
14	700	4	588.000	0.024490		
15	720	4.3	604.800	0.026327		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
TRAMO 1			TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE (F_{bf})			294.000 Kg/cm ²		Esfuerzo máximo (f_r)	
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})			0.004163		604.800 Kg/cm ²	
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$			70617.647 Kg/cm ²		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	
					0.026327	

TABLA B 9.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 09

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-9	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 5.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$			$L = 70.00 \text{ cm}$ $CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ B\u00e1sica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$			
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) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA	
0	0	0	0	0		
1	50	0.05	42.000	0.000306		
2	100	0.12	84.000	0.000735		
3	150	0.18	126.000	0.001102		
4	200	0.25	168.000	0.001531		
5	250	0.4	210.000	0.002449		
6	300	0.7	252.000	0.004286		
7	350	0.95	294.000	0.005816		
8	400	1.4	336.000	0.008571		
9	450	1.9	378.000	0.011633		
10	500	2.5	420.000	0.015306		
11	550	3.2	462.000	0.019592		
12	580	3.8	487.200	0.023265		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
TRAMO 1			TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)			210.000 Kg/cm ²		Esfuerzo máximo (f_r)	
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})			0.002449			
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_p L^3}{4bh^3 \delta_p}$			85750.000 Kg/cm ²		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	
					0.023265	

TABLA B 10.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 10

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-10		
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 5.00 \text{ cm}$		$L = 70.00 \text{ cm}$			$CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$		
$h = 5.00 \text{ cm}$					$Densidad \text{ B\u00e1sica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$		
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA							
N° Lectura	Carga (P)	Deformación (δ)	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$	Deformación Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GR\u00c1FICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA		
	kg	cm	kg/cm ²				
0	0	0	0	0			
1	50	0.05	42.000	0.000306			
2	100	0.1	84.000	0.000612			
3	150	0.17	126.000	0.001041			
4	200	0.25	168.000	0.001531			
5	250	0.33	210.000	0.002020			
6	300	0.4	252.000	0.002449			
7	350	0.52	294.000	0.003184			
8	400	0.6	336.000	0.003673			
9	450	0.75	378.000	0.004592			
10	500	0.85	420.000	0.005204			
11	550	1	462.000	0.006122			
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GR\u00c1FICO							
TRAMO 1				TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)				252.000 Kg/cm ²		Esfuerzo m\u00e1ximo (f_r)	462.000 Kg/cm ²
Deformaci\u00f3n unitaria en LPE (Du_{LPE})				0.002449			
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$				102900.000 Kg/cm ²		Deformaci\u00f3n unitaria en LR (Du_{LR})	0.006122

TABLA B 11.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 11

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-11	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 4.99 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.02 \text{ cm}$			$CH\% \text{ despues de secar} = 15.06 \%$ $Densidad \text{ B\u00e1sica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$			
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) $Du = \delta \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA 	
0	0	0	0	0		
1	50	0.05	41.750	0.000307		
2	100	0.18	83.499	0.001106		
3	150	0.28	125.249	0.001721		
4	200	0.48	166.998	0.002951		
5	250	0.63	208.748	0.003873		
6	300	0.75	250.497	0.004610		
7	350	0.8	292.247	0.004918		
8	400	0.9	333.996	0.005532		
9	450	1	375.746	0.006147		
10	500	1.4	417.495	0.008606		
11	550.000	1.550	459.245	0.010		
12	600.000	2.100	500.994	0.013		
13	650.000	2.500	542.744	0.015		
14	700.000	3.700	584.493	0.023		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
TRAMO 1			TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)			417.495 Kg/cm2		Esfuerzo máximo (f_r)	
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})			0.008606			
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{tp} L^3}{4bh^3 \delta_{tp}}$			48513.700 Kg/cm2		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	
					0.022744	

TABLA B 12.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 12

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-12	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS		
$b = 5.00 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$				$CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$		
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	50	0.04	42.000	0.000245		
2	100	0.05	84.000	0.000306		
3	150	0.06	126.000	0.000367		
4	200	0.1	168.000	0.000612		
5	250	0.15	210.000	0.000918		
6	300	0.18	252.000	0.001102		
7	350	0.24	294.000	0.001469		
8	400	0.29	336.000	0.001776		
9	450	0.38	378.000	0.002327		
10	500	0.48	420.000	0.002939		
11	550	0.59	462.000	0.003612		
12	600	0.68	504.000	0.004163		
13	650	0.81	546.000	0.004959		
14	700	0.92	588.000	0.005633		
15	750	1.05	630.000	0.006429		
16	800	1.15	672.000	0.007041		
17	850	1.3	714.000	0.007959		
18	900	1.48	756.000	0.009061		
19	940	1.75	789.600	0.010714		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
			TRAMO 1		TRAMO 2	
			Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)	336.000 Kg/cm^2		Esfuerzo máximo (f_r) 789.600 Kg/cm^2
			Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.001776		
			Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	$189241.379 \text{ Kg/cm}^2$		Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.010714

TABLA B 13.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 13

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-13	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS		
$b = 5.00 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$				$CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.411 \text{ gr/cm}^3$		
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	50	0.03	42.000	0.000184		
2	100	0.08	84.000	0.000490		
3	150	0.13	126.000	0.000796		
4	200	0.2	168.000	0.001224		
5	250	0.25	210.000	0.001531		
6	300	0.3	252.000	0.001837		
7	350	0.4	294.000	0.002449		
8	400	0.45	336.000	0.002755		
9	450	0.5	378.000	0.003061		
10	500	0.6	420.000	0.003673		
11	550	0.65	462.000	0.003980		
12	600	0.75	504.000	0.004592		
13	650	0.85	546.000	0.005204		
14	700	0.9	588.000	0.005510		
15	750	1	630.000	0.006122		
16	800	1.1	672.000	0.006735		
17	850	1.5	714.000	0.009184		
18	900	2.5	756.000	0.015306		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
					TRAMO 1	
					Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)	588.000 Kg/cm2
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.005510
					TRAMO 2	
					Esfuerzo máximo (f_r)	756.000 Kg/cm2
					Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	106711.111 Kg/cm2
					Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.015306

TABLA B 14.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 14

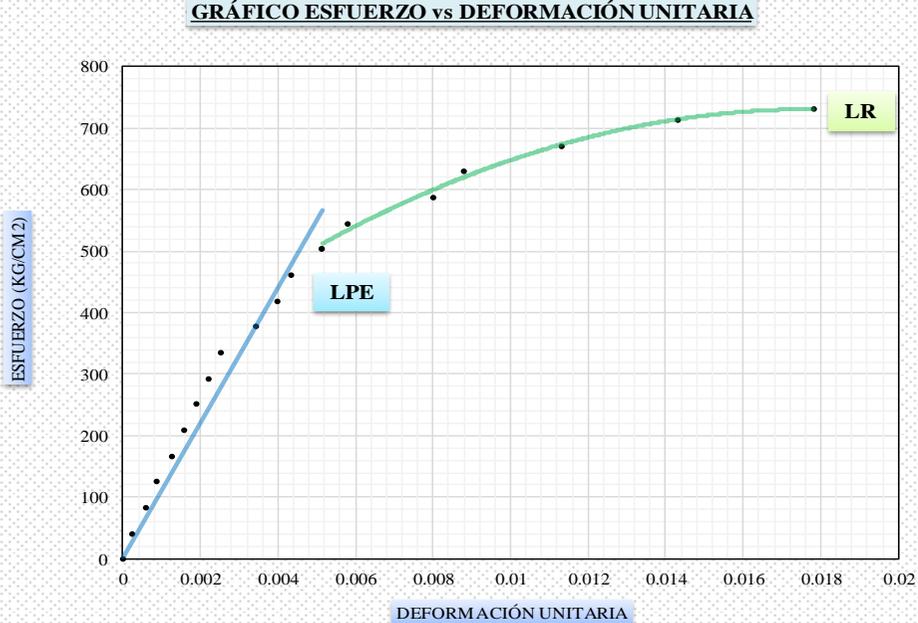
FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-14	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS		
$b = 5.00 \text{ cm}$		$L = 70.00 \text{ cm}$			$CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$	
$h = 5.00 \text{ cm}$					$Densidad \text{ B\u00e1sica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$	
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
N° Lectura	Carga (P)	Deformación (δ)	Esfuerzo (f)	Deformación Unitaria (Du)	GR\u00c1FICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA 	
	kg	cm	$f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	$Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$		
0	0	0	0	0		
1	50	0.04	42.000	0.000245		
2	100	0.1	84.000	0.000612		
3	150	0.14	126.000	0.000857		
4	200	0.21	168.000	0.001286		
5	250	0.26	210.000	0.001592		
6	300	0.31	252.000	0.001898		
7	350	0.36	294.000	0.002204		
8	400	0.41	336.000	0.002510		
9	450	0.56	378.000	0.003429		
10	500	0.65	420.000	0.003980		
11	550	0.71	462.000	0.004347		
12	600	0.84	504.000	0.005143		
13	650	0.95	546.000	0.005816		
14	700	1.31	588.000	0.008020		
15	750	1.44	630.000	0.008816		
16	800	1.85	672.000	0.011327		
17	850	2.34	714.000	0.014327		
18	870	2.91	730.800	0.017816		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GR\u00c1FICO						
TRAMO 1			TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)			504.000 Kg/cm2		Esfuerzo m\u00e1ximo (f_r)	
Deformaci\u00f3n unitaria en LPE (Du_{LPE})			0.005143			
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$			98000.000 Kg/cm2		Deformaci\u00f3n unitaria en LR (Du_{LR})	
					0.017816	

TABLA B 15.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 15

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-15	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 5.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$			$L = 70.00 \text{ cm}$ $CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ B\u00e1sica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$			
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) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA	
0	0	0	0	0		
1	50	0.01	42.000	0.000061		
2	100	0.12	84.000	0.000735		
3	150	0.16	126.000	0.000980		
4	200	0.2	168.000	0.001224		
5	250	0.24	210.000	0.001469		
6	300	0.35	252.000	0.002143		
7	350	0.4	294.000	0.002449		
8	400	0.51	336.000	0.003122		
9	450	0.61	378.000	0.003735		
10	500	0.69	420.000	0.004224		
11	550	0.79	462.000	0.004837		
12	600	0.91	504.000	0.005571		
13	650	0.99	546.000	0.006061		
14	700	1.09	588.000	0.006673		
15	750	1.24	630.000	0.007592		
16	800	1.36	672.000	0.008327		
17	850	1.53	714.000	0.009367		
18	900	1.81	756.000	0.011082		
19	950	2.11	798.000	0.012918		
20	1000	2.59	840.000	0.015857		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
			TRAMO 1		TRAMO 2	
			Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)	630.000 Kg/cm2	Esfuerzo máximo (f_r)	840.000 Kg/cm2
			Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.007592		
			Modulo de elasticidad (MOE)	82983.871 Kg/cm2	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.015857
			$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$			

TABLA B 16.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 16

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-16		
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS				
$b = 5.00 \text{ cm}$ $L = 70.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$			$CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ B\u00e1sica} = 0.432 \text{ gr/cm}^3$				
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA							
N° Lectura	Carga (P)	Deformación (δ)	Esfuerzo (f)	Deformación Unitaria (Du)	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA 		
	kg	cm	$f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	$Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$			
0	0	0	0	0			
1	50	0.04	42.000	0.000245			
2	100	0.12	84.000	0.000735			
3	150	0.2	126.000	0.001224			
4	200	0.25	168.000	0.001531			
5	250	0.3	210.000	0.001837			
6	300	0.45	252.000	0.002755			
7	350	0.5	294.000	0.003061			
8	400	0.6	336.000	0.003673			
9	450	0.7	378.000	0.004286			
10	500	0.8	420.000	0.004898			
11	550	0.9	462.000	0.005510			
12	600	1	504.000	0.006122			
13	650	1.1	546.000	0.006735			
14	700	1.2	588.000	0.007347			
15	750	1.25	630.000	0.007653			
16	800	1.5	672.000	0.009184			
17	850	1.9	714.000	0.011633			
18	910	2.5	764.400	0.015306			
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO							
			TRAMO 1		TRAMO 2		
			Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)	588.000 Kg/cm2		Esfuerzo máximo (f_r)	764.400 Kg/cm2
			Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.007347			
			Modulo de elasticidad (MOE)	80033.333 Kg/cm2		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.015306
			$MOE = \frac{P_{1p} L^3}{4bh^3 \delta_{1p}}$				

TABLA B 17.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 17

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-17	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 5.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$			$L = 70.00 \text{ cm}$ $CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$			
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	
					ESFUERZO (KG/CM2)	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0	0	0		
1	50	0.04	42.000	0.000245		
2	100	0.05	84.000	0.000306		
3	150	0.11	126.000	0.000673		
4	200	0.2	168.000	0.001224		
5	250	0.24	210.000	0.001469		
6	300	0.35	252.000	0.002143		
7	350	0.44	294.000	0.002694		
8	400	0.51	336.000	0.003122		
9	450	0.59	378.000	0.003612		
10	500	0.74	420.000	0.004531		
11	550	0.86	462.000	0.005265		
12	600	1	504.000	0.006122		
13	650	1.16	546.000	0.007102		
14	700	1.41	588.000	0.008633		
15	750	1.8	630.000	0.011020		
16	780	2	655.200	0.012245		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
TRAMO 1			TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)			420.000 Kg/cm2		Esfuerzo máximo (f_r)	655.200 Kg/cm2
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})			0.004531			
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$			92702.703 Kg/cm2		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.012245

TABLA B 18.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 18

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-18	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 5.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$			$L = 70.00 \text{ cm}$ $CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ B\u00e1sica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$			
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
N° Lectura	Carga (P)	Deformación (δ)	Esfuerzo (f)	Deformación Unitaria (Du)	GR\u00c1FICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA 	
	kg	cm	$f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	$Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$		
0	0	0	0	0		
1	50	0.06	42.000	0.000367		
2	100	0.16	84.000	0.000980		
3	150	0.21	126.000	0.001286		
4	200	0.37	168.000	0.002265		
5	250	0.44	210.000	0.002694		
6	300	0.64	252.000	0.003918		
7	350	0.79	294.000	0.004837		
8	400	0.99	336.000	0.006061		
9	420	1.5	352.800	0.009184		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GR\u00c1FICO						
TRAMO 1			TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)			210.000 Kg/cm2		Esfuerzo m\u00e1ximo (f_r)	
Deformaci\u00f3n unitaria en LPE (Du_{LPE})			0.002694			
Modulo de elasticidad (MOE)			77954.545 Kg/cm2		Deformaci\u00f3n unitaria en LR (Du_{LR})	
$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$						

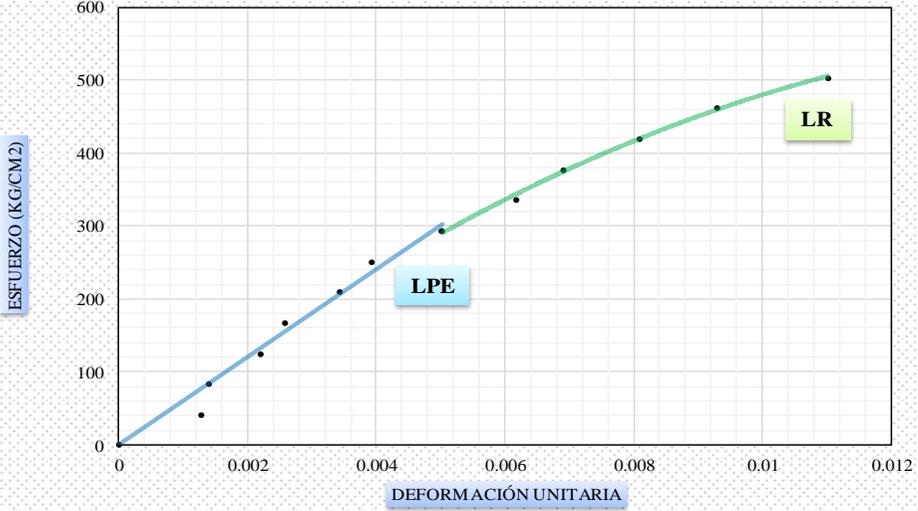
TABLA B 19.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 19

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-19		
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 5.00 \text{ cm}$		$L = 70.00 \text{ cm}$		$CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$		$Densidad \text{ B\u00e1sica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$	
$h = 5.00 \text{ cm}$							
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA							
N° Lectura	Carga (P)	Deformación (δ)	Esfuerzo (f)	Deformación Unitaria (Du)	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA 		
	kg	cm	$f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	$Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$			
0	0	0	0	0			
1	50	0.06	42.000	0.000367			
2	100	0.12	84.000	0.000735			
3	150	0.21	126.000	0.001286			
4	200	0.31	168.000	0.001898			
5	250	0.35	210.000	0.002143			
6	300	0.42	252.000	0.002571			
7	350	0.61	294.000	0.003735			
8	400	0.71	336.000	0.004347			
9	450	0.84	378.000	0.005143			
10	500	1	420.000	0.006122			
11	550	1.11	462.000	0.006796			
12	600	1.43	504.000	0.008755			
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO							
TRAMO 1				TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)				252.000 Kg/cm^2		Esfuerzo máximo (f_r)	504.000 Kg/cm^2
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})				0.002571			
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$				$98000.000 \text{ Kg/cm}^2$		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.008755

TABLA B 20.

Ensayo a flexión de probetas de 5 cm x 5 cm x 75 cm – probeta 20

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017					PROBETA: P-20			
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS					
$b = 5.00 \text{ cm}$ $h = 5.00 \text{ cm}$			$L = 70.00 \text{ cm}$ $CH\% \text{ despues de secar} = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Básica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$					
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA								
N° Lectura	Carga (P)	Deformación (δ)	Esfuerzo (f)	Deformación Unitaria (Du)	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA 			
	kg	cm	$f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	$Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$				
0	0	0	0	0				
1	50	0.21	42.000	0.001286				
2	100	0.23	84.000	0.001408				
3	150	0.36	126.000	0.002204				
4	200	0.42	168.000	0.002571				
5	250	0.56	210.000	0.003429				
6	300	0.64	252.000	0.003918				
7	350	0.82	294.000	0.005020				
8	400	1.01	336.000	0.006184				
9	450	1.13	378.000	0.006918				
10	500	1.32	420.000	0.008082				
11	550	1.52	462.000	0.009306				
12	600	1.8	504.000	0.011020				
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO								
TRAMO 1			TRAMO 2					
Esfuerzo en LPE ($F_{b,f}$)			252.000 Kg/cm2		Esfuerzo máximo (f_r)		504.000 Kg/cm2	
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})			0.003918					
Modulo de elasticidad (MOE)			64312.500 Kg/cm2		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})		0.011020	
$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$								

APENDICE C: Clasificación visual de la madera

TABLA C 1.

Clasificación de láminas para vigas laminadas en forma de arco

CLASIFICACIÓN DE LÁMINAS PARA VIGAS EN ARCO																		
		DIMENSIONES DE LÁMINA PARA VIGA EN ARCO																
		<i>L</i> =	3.80 m	<i>b</i> =	0.105 m	<i>e</i> =	0.020 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-7</i>	<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>	<i>Tramo D-7</i>		
		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
	<i>grado</i>			<i>A</i>		<i>B</i>		<i>B</i>			<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>		<i>A</i>		<i>A</i>	
	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
	<i>grado</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>		<i>B</i>	<i>A</i>		<i>B</i>		<i>A</i>		<i>A</i>			
	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
	<i>grado</i>	<i>A</i>		<i>B</i>		<i>A</i>		<i>B</i>		<i>B</i>	<i>A</i>		<i>B</i>			<i>A</i>		
	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
<i>grado</i>		<i>A</i>	<i>B</i>		<i>A</i>		<i>B</i>		<i>B</i>	<i>A</i>		<i>B</i>	<i>A</i>					
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		
<i>grado</i>	<i>A</i>		<i>A</i>	<i>A</i>		<i>A</i>	<i>A</i>		<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>					
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		
<i>grado</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>		<i>A</i>		<i>B</i>		<i>B</i>	<i>A</i>			<i>B</i>	<i>A</i>				
LA-7	0.015 m		0.044 m		0.045 m		0.030 m		0.050 m		0.006 m		0.010 m			B		
<i>grado</i>	<i>A</i>		<i>B</i>		<i>B</i>		<i>A</i>		<i>B</i>		<i>A</i>		<i>A</i>					
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		
<i>grado</i>	<i>A</i>	<i>A</i>		<i>B</i>		<i>A</i>		<i>A</i>		<i>B</i>		<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>				
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS																		
Del estudio resulta que el 100% de la muestra de madera usada en éste estudio pertenece al grado B.																		

TABLA C 2.

Clasificación visual de madera aserrada : Segun Padt – Refort

DEFECTOS	TOLERANCIAS
1.- ABARQUILLADO	No presenta
2.- ARISTA FALTANTE	No presenta
3.- ARQUEADURA	No presenta
4.- BANDAS ANCHAS DE PARANQUIMA	No presenta
5.- DURAMEN QUEBRADIZO	No presenta
6.- ENCORVADURA	Se permite 1 cm. por cada 300 cm. de longitud de la pieza o su equivalente $h/L \leq 0.3\%$; se logró medir presentando un mínimo de 0.5 cm.
7.- ESCAMADURA	No presenta
8.- FALLAS DE COMPRESIÓN	No presenta
9.- GRANO INCLINADO	No presenta
10.- GRIETAS	No presenta
11.- MANCHAS	Las manchas que se presentaron midieron de 0.5 cm hasta 2 cm.
12.- MEDULA INCLINADA	No presenta
13.- NUDOS ARRACINMADOS	No presenta
14.- NUDO HUECO	No presenta
15.- NUDO SANO	Se encontraron nudos desde 0.3 hasta 4 cm
16.- PERFORACIONES GRANDES	No presenta
17.- PERFORACIONES PEQUEÑAS	No presenta
18.- PUDRICIÓN	No presenta
19.- RAJADURA	Presenta rajadura de 5 cm de longitud
20.- TORCEDURA	No presenta

APENDICE D: Diseño de vigas

TABLA D 1.

Diseño de vigas macizas rectas

DISEÑO DE VIGAS RECTAS - NCh 2165 of 91

1. HIPOTESIS DE DISEÑO

se usara madera del grupo C , con un CH< 30%

Densidad: 441 kg/cm³

Distancia entre vigas= 2 m (distancia entre vigas para una construccion en general)

luz libre de calculo (entre caras de apoyo) = 2.90 m

carga muerta adicional (entablado)= 20 kg/m²

sobre carga por uso de vivienda unifamiliar según norma=100 kg/m²

2.CARGAS PERMANENTES (carga muerta)

densidad : 441 kg/m³

- Peso propio : $Q_{pp} = p \cdot b \cdot h$
 $= 441 \times 0.09 \times 0.18 = 7.14 \text{ kg/m}$

- Carga muerta adicional por piso:
 $Q_{ma} = 20 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m} = 40 \text{ kg/m}$

3. CARGAS VARIABLES (CV)

sobrecarga por uso para vivienda unifamiliar = 100 kg/m²

sobrecarga por uso $Q_{sc} = 100 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m} = 200 \text{ kg/m}$

4. CARGAS SOLICITANTES

carga total:

$$W_t = Q_{pp} + Q_{ma} + Q_{sc}$$

$$W_t = 7.14 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + \frac{40\text{kg}}{\text{m}} + 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 247.14 \text{ kg/m}$$

sobre carga total:

$$W_{tot Sc} = 200 \text{ kg/m}$$

viga simplemente apoyada - carga puntual :

momento maximo:

$$M_{\max} = \frac{W \times L^2}{8}$$

$$M_{\max} = \frac{247.14 \times 2.90^2}{8} = 259.81 \text{ kg-m}$$

cortante maximo:

$$V_{\max} = \frac{W \times L}{2}$$

$$V_{\max} = \frac{247.14 \times 2.90}{2} = 358.35 \text{ kg}$$

5. DEFORMACIONES MAXIMAS:

deformacion maxima para carga total :

$$\Delta_{\max} = \frac{L}{250} = \frac{290 \text{ cm}}{250} = 1.16 \text{ cm}$$

deformacion maxima para sobrecarga

$$\Delta_{\max} = \frac{L}{350} = \frac{290 \text{ cm}}{350} = 0.83 \text{ cm}$$

6. ESFUERZOS ADMISIBLES Y MODULO DE ELASTICIDAD:

Para vigas se usa el E_{\min} y los esfuerzos admisibles sin ninguna modificacion:

$E_{\min} =$	55000		
<i>flexion</i> =	358.97	kg/cm ²	(ensayo a flexion de las probetas)
$f_v =$	8 kg/cm ²		

7. Momento de inercia I necesario por limitacion de deflexiones:

$$I > \frac{5WL^3k}{384E}$$

Para la carga total $K=250$,

$$I > \frac{5 \times 247.14 \times 290^3 \times 250}{384 \times 100 \times 55000} = 3567.41 \text{ cm}^4$$

Para la sobre carga total $K=350$,

$$I > \frac{5 \times 200 \times 290^3 \times 350}{384 \times 100 \times 55000} = 4041.74 \text{ cm}^4$$

considerando el mayor de los dos Inecesario= 4041.74 cm⁴ □

8. Modulo de la seccion Z necesario por resistencia.

$$Z \text{ necesario} > \frac{M}{f_m} = \frac{259.81}{358.97} = 72 \text{ cm}^3$$

9. Dimensiones de la seccion:

de acuerdo a la tabla 13.1 (propiedades de escuaria) del manual de diseño para maderas del grupo andino.

$$I \text{ necesario} = 4041.74 \text{ cm}^4$$

$$Z \text{ necesario} = 72 \text{ cm}^3$$

se selecciona una seccion de 9 cm x 18 cm

satisfacen los requisitos de momento de inercia (I) y modulo de elasticidad (Z).

para dimensiones de 4x 8 pulgadas

$$Z \text{ necesario} = 72 < 541.5 \text{ cm}^3$$

$$I \text{ necesario} = 4041.74 \text{ cm}^4 < 5144.2 \text{ cm}^4$$

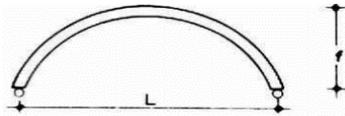
TABLA D 2.

Diseño de vigas laminadas en arco

DISEÑO DE VIGAS LAMINADAS EN ARCO - NCh 2165 of 91

1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Sistema Estático:



Tipo de estructura: Viga en arco o curva de tipo bi-articulado., simplemente apoyada

Pendiente apropiada en grados: $f = 0.135L$

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

2. PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGA

Luz libre (L_1): se considera la longitud libre de los apoyos de las vigas

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

calculos de flecha:

$$f = 0.135L_1$$

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

para calcular la flecha externa, se asume teniendo en consideración la altura entre los apoyos y el pistón de la máquina universal.

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

para calcular la flecha interna se resta la altura de la viga.

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

para calcular la flecha media

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

Calculo del radio de curvatura :

El radio interno se calcula en base a la longitud de la viga y la flecha interna.

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

El radio de curvatura externo se calcula sumando la altura al radio interno.

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

El radio de curvatura medio

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

Calculo de la longitud curva de la viga (L_v):

la longitud interna de la viga se calcula con el radio interno

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

la longitud externa se calcula mediante el dibujo de autocad, cortándose lo extremo, para ser apoyo de i

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

Calculo de la longitud horizontal de viga (L):

De acuerdo a la longitud horizontal entre los apoyos del pórtico de ensayo

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

calculo de la altura de viga (h)

De acuerdo a Manual de Madera Laminada $h=Ll/17$

$$h = 2.9/17$$

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

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

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

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

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

$$e = 3.445/180$$

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

$$e = 0.0150 \text{ m} \quad \text{se elige 15mm, por ser mas trabajable en curvas}$$

según Hugo Wijnans" madera laminada: diseño y construcción", lamina de 15 mm permiten facil manipulacion en el curvado.

Calculo del N° de laminas $n=h/e$

$$n = 0.18/0.015$$

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

3. CONDICIONES DE SERVICIO

3.1 Propiedades geometricas de elemento estructural:

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

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

$$I_x = 9.(18^3)/12$$

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

3.1.2 Modulo de Flexión (W)

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

$$W = 9.(18^2)/6$$

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

3.2 Esfuerzos básicos o de ensayo:

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

$$F_{b,f} = 358.970 \text{ Kg/cm}^2$$

3.2.2 Esfuerzo básico de cizalla o corte

$$F_{b,cz} = 42.39 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$E_{L,b} = 86339.630 \text{ Kg/cm}^2$$

3.3 Propiedades básicas físicas de ensayo:

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

$$CH = 14.75 \%$$

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

$$DB = 441 \text{ kg/m}^3$$

3.4 Solicitaciones:

3.4.1 Consideraciones de solicitaciones

Duración de carga en años (t) = 10 años

Distancia entre vigas(D_v) = 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})

$$W_{pp} = DB \cdot v \cdot b \cdot h$$

$$W_{pp} = 441 \times 0.09 \times 0.18$$

$$W_{pp} = 7.14 \text{ Kg/m}$$

3.4.2.2 Carga adicional por entablado (W_{ma})

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

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

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

3.4.3 Cargas Variables (CV)

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

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

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

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

3.4.4 Carga Total (W_t)

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

$$W_t = 7.14 + 20 + 100$$

$$W_t = 127.14 \text{ Kg/m}$$

3.5 Cálculo de momentos

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

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

$$M_{max_t} = (127.14) \cdot (3.1^2) / 8$$

$$M_{max_t} = 152.73 \text{ Kg.m}$$

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})

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

$$V_{max_t} = (127.14) \cdot (3.1) / 2$$

$$V_{max_t} = 197.07 \text{ Kg}$$

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

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

4.1 Deformación admisible para sobrecarga total

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

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)

$$F_{b,f} = 358.970 \text{ Kg/cm}^2$$

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 (anexo 28)

laminas de grado B.

$$x_i = 0.145$$

$$d_i = 0.695$$

∴ 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:

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

$$F_f = (0.85) \cdot (0.5) \cdot (358.97)$$

$$F_f = 152.562 \text{ Kg/cm}^2$$

5.2 Esfuerzo admisible en cizalla o corte:

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

razon de resistencia en cizalla

$$RR_{cz} = 1$$

esfuerzo basico en cizalla o corte (obtenido de ensayo)

$$F_{b,cz} = 42.39 \text{ kg/c}$$

∴ Finalmente se calcula el esfuerzo admisible en cizalla:

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

$$F_{cz} = (1)(42.39)$$

$$F_{cz} = 42.39$$

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)

$$E_{L,b} = 86339.630 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Finalmente se calcula el modulo de elasticidad admisible:

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

$$E_L = 0.95 \cdot (86339.63)$$

$$E_L = 82022.649 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo Normal 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 compresión 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)

$$F_f = 152.562 \text{ Kg/cm}^2$$

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 (CH_s) y contenido de Humedad de norma igual a 12%

$$\Delta H = CH_s - 12$$

$$\Delta H = 14.75 - 12$$

$$\Delta H = 2.75 \%$$

6.1.2.1.1 Calculamos la variación de la resistencia por cada 1% de variación de contenido, (Anexo 28-a)

$$\Delta R = 0.0205$$

∴ Luego se calcula K_H :

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

$$K_H = 1 - (2.75) \cdot (0.0205)$$

$$K_H = 0.944 > 1$$

∴ $K_H = 0.94$ se toma ese valor ya que no es mayor a 1

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

(Obtenido de anexo 28-b)

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 23)

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

6.1.2.4 Calculamos Factor de modificación por tratamiento químico (K_Q)

(Obtenido de anexo 24)

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

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

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

$$F_{ft,dis} = 152.56225 \cdot (0.943625) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (0.96)$$

$$\therefore F_{ft,dis} = 138.20 \text{ Kg/cm}^2$$

En la zona flexo-comprimida

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

$$F_{fv,dis} = 152.56225 \cdot (0.943625) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (0.96)$$

$$\therefore F_{fv,dis} = 138.20 \text{ Kg/cm}^2$$

6.2 Esfuerzo de diseño en Cizalla o corte:

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

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \cdot K_H \cdot K_D = 42.39 \cdot 0.94 \cdot 1$$

$$F_{cz,dis} = 39.8466$$

$$\therefore F_{cz,dis} = 39.85 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo Normal Radial en el Apice

6.3 Esfuerzo de diseño en tracción normal radial:

$$F_{tn,dis} = F_{tn} \cdot K_{modificación}$$

$$F_{tn,dis} = F_{tn} \cdot K_H \cdot K_D$$

$$F_{tn,dis} = 4.3 \cdot (0.943625) \cdot (1)$$

$$\therefore F_{tn,dis} = 4.06 \text{ Kg/cm}^2$$

6.4 Esfuerzo de diseño en compresion normal radial:

$$F_{cn,dis} = F_{cn} \cdot K_{modificación}$$

$$F_{cn,dis} = F_{cn} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_{cn}$$

$$F_{cn,dis} = 28.2 \cdot (0.943625) \cdot (1) \cdot (1)$$

$$\therefore F_{cn,dis} = 26.61 \text{ Kg/cm}^2$$

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})

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

$$\delta_{inst} = \frac{5 \cdot (127.14/100) \cdot (310^4)}{384 \cdot (82022.6485) \cdot (4374)}$$

$$\delta_{inst} = 0.426 \text{ cm}$$

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)

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

$$G = 86339.63/15$$

$$G = 5755.98 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Seguidamente se calcula δ_Q

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

$$\delta_Q = \frac{1.2(152.73)}{(5755.98)(9)(18)}$$

$$\delta_Q = 0.000197 \text{ m}$$

$$\delta_Q = 0.020 \text{ cm}$$

7.1.3 Deformación por carga total (δ_{tot})

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

$$\delta_{tot} = 0.426 + 0.02$$

$$\delta_{tot} = 0.446 \text{ cm}$$

7.2 Deformaciones por Sobre carga:

7.2.1 Deformación instantanea por flexión (δ_{inst})

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

$$\delta_{inst} = \frac{5 \cdot (100/100) \cdot (310^4)}{384 \cdot (82022.6485) \cdot (4374)}$$

$$\delta_{inst} = 0.291 \text{ cm}$$

7.2.2 Deformación total por corte (δ_Q)

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

$$\delta_Q = \frac{1.2(120.125)}{(5755.98)(9)(18)}$$

$$\delta_Q = 0.000155 \text{ m}$$

$$\delta_Q = 0.015 \text{ cm}$$

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

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

$$\delta_{tot.sc} = 0.291 + 0.015$$

$$\delta_{tot.sc} = 0.306 \text{ cm}$$

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

8.1 Esfuerzo de trabajo en flexión (f_f):

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

$$f_f = \frac{152.73(100)}{486}$$

$$f_f = 31.426 \text{ Kg/cm}^2$$

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

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

$$f_{cz} = \frac{1.5(197.07)}{(9)(18)}$$

$$f_{cz} = 1.820 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo Normal 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 ($f_{n,max}$):

$$f_{n,max} = K_r \frac{M_{max}}{W_m}$$

$$f_{n,max} = 0.0127((100)152.73/486)$$

$$f_{n,max} = 0.399 \text{ Kg/cm}^2$$

Flexión en el Apice

8.4 Esfuerzo de flexión 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 ($f_{f,max}$):

$$f_{f,max} = K_\theta \frac{M_{max}}{W_m}$$

$$f_{f,max} = 1.0194((100)152.73/486)$$

$$f_{f,max} = 32.036 \text{ Kg/cm}^2$$

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)

$$x_m = \frac{L \cdot h_e \cdot \cos^2 \theta}{(L \cdot \operatorname{Tg}(\phi_t - \theta) + 2 \cdot h_e \cdot \cos^2 \theta)}$$

$$x_m = \frac{3.1(0.18)(\operatorname{Cos} 0)^2}{3.1(\operatorname{Tg}(0-0) + 2(0.18)(\operatorname{Cos} 0)^2)}$$

$$x_m = 1.55 \text{ m}$$

8.5.2 Calculamos la altura en el punto con esfuerzo máximo (h_x)

$$h_x = h_e \cdot \operatorname{Cos} \theta + \left(\frac{x_m \cdot \operatorname{Tg}(\phi_t - \theta)}{\operatorname{Cos} \theta} \right)$$

$$h_x = 0.18 \operatorname{Cos} 0 + \frac{1.55 \operatorname{Tg}(0-0)}{\operatorname{Cos}(0)}$$

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

8.5.3 Calculamos el momento en el punto con esfuerzo máximo (M_x)

$$M_x = 0.5 q \cdot x_m (L - x_m)$$

$$M_x = 0.5(127.14)(1.55)(3.1-1.55)$$

$$M_x = 152.73 \text{ Kg.m}$$

∴ Esfuerzo en el punto de flexión máximo ($f_{f,x}$):

$$f_{f,x} = \frac{6 \cdot M_x}{b \cdot h_x^2}$$

$$f_{f,x} = 6 (152.727) / ((9)(18)^2)$$

$$f_{f,x} = 31.425 \text{ Kg/cm}^2$$

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

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

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

$$\frac{31.426}{138.2} < 1$$

$$0.23 \text{ m} < 1 \quad \text{OK}$$

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

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

$$\frac{0.446}{1.0333} < 1$$

$$0.43 \text{ m} < 1 \quad \text{OK}$$

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

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

$$\frac{0.306}{0.8611} < 1$$

$$0.36 \text{ m} < 1 \quad \text{OK}$$

Flexión en el Apice

9.6 Verificación de Esfuerzo de flexión de trabajo en el ápice / Esfuerzo de diseño de flexión:

$$\frac{f_{f,max}}{F_{ft,dis}} < 1$$

$$\frac{32.036}{138.2} < 1$$

$$0.23 \text{ m} < 1 \quad \text{OK}$$

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:

$$\frac{f_{f,x}}{F_{ft,dis}} < 1$$
$$\frac{31.425}{138.2} < 1$$
$$0.23 \text{ m} < 1 \quad \text{OK}$$

Interacción de esfuerzos

9.8 Zona flexocomprimida:

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

$$f_{f,max} = f_{f,x} = 32.036 \text{ Kg/cm}^2$$
$$f_{cz} = f_{f,max} \cdot Tg^2 \Phi_t = 0.000 \text{ Kg/cm}^2$$
$$f_{cn} = f_{f,max} \cdot Tg \Phi_t = 0.000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{fv,dis} = 138.200 \text{ Kg/cm}^2$$
$$F_{cn,dis} = 26.610 \text{ Kg/cm}^2$$
$$F_{cz,dis} = 39.850 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\frac{32.036/138.200}{0.05} \wedge 2 + \frac{0/26.610}{0.05} \wedge 2 + \frac{0/(2.66(39.85))}{0.05} \wedge 2 \leq 1 \quad \text{OK}$$

9.9 Zona flexotraccionada:

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

$$f_{f,max} = f_{f,x} = 32.036 \text{ Kg/cm}^2$$
$$f_{cz} = f_{f,max} \cdot Tg^2 \Phi_t = 0.000 \text{ Kg/cm}^2$$
$$f_{tn} = f_{f,max} \cdot Tg \Phi_t = 0.000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{ft,dis} = 138.200 \text{ Kg/cm}^2$$
$$F_{tn,dis} = 4.060 \text{ Kg/cm}^2$$
$$F_{cz,dis} = 39.850 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\frac{32.036/138.200}{0.05} \wedge 2 + \frac{0/1.25(4.06)}{0.05} \wedge 2 + \frac{0/(1.33(39.85))}{0.05} \wedge 2 \leq 1 \quad \text{OK}$$

APENDICE E: Ensayos a flexión de vigas macizas rectas y vigas laminadas en forma de arco

TABLA E 1.

Ensayo a la flexión estática – VR-1

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS RECTAS					VIGA: VR-1															
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR					2. PROPIEDADES FÍSICAS															
$b = 9.00 \text{ cm}$ $h = 18.00 \text{ cm}$			$L = 290.00 \text{ cm}$		$CH\% = 14.75\%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$															
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA																				
Nº Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f) $f = \frac{3PL}{2bh^2}$ kg/cm2	Deformacion Unitaria (Du) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	<p align="center">GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA</p>															
0	0	0	0	0																
1	200	0.4	29.835	0.000514																
2	400	0.8	59.671	0.001027																
3	600	1	89.506	0.001284																
4	800	1.4	119.342	0.001798																
5	1000	1.8	149.177	0.002312																
6	1200	2.2	179.012	0.002825																
7	1400	3	208.848	0.003853																
					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>149.177 Kg/cm2</td> <td rowspan="2">Esfuerzo máximo (f_r)</td> <td rowspan="2">208.848 Kg/cm2</td> </tr> <tr> <td>Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})</td> <td>0.002312</td> </tr> <tr> <td>Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$</td> <td>64535.915 Kg/cm2</td> <td>Deformación unitaria en LR (Du_{LR})</td> <td>0.003853</td> </tr> </tbody> </table>		TRAMO 1		TRAMO 2		Esfuerzo en LPE (f_{lp})	149.177 Kg/cm2	Esfuerzo máximo (f_r)	208.848 Kg/cm2	Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.002312	Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	64535.915 Kg/cm2	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.003853
TRAMO 1		TRAMO 2																		
Esfuerzo en LPE (f_{lp})	149.177 Kg/cm2	Esfuerzo máximo (f_r)	208.848 Kg/cm2																	
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.002312																			
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$	64535.915 Kg/cm2	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.003853																	
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA RECTA ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO															
<p>La falla se origina en las uniones, debido a la carga puntual aplicada en el centro de la viga, tipo de falla frágil.</p>					<p>Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga recta (VR-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 = 3 cm y carga máxima de rotura = 1400 kg</p>															

TABLA E 2.

Ensayo a la flexión estática – VR-2

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS RECTAS					VIGA: VR-2			
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR				2. PROPIEDADES FÍSICAS				
$b = 9.00 \text{ cm}$		$L = 290.00 \text{ cm}$		$CH\% = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$				
$h = 18.00 \text{ cm}$								
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	100	0.1	14.918	0.000128				
2	200	0.25	29.835	0.000321				
3	300	0.36	44.753	0.000462				
4	400	0.5	59.671	0.000642				
5	500	0.6	74.588	0.000771				
6	600	0.68	89.506	0.000873				
7	680	0.84	101.440	0.001079				
8	700	0.9	104.424	0.001156				
9	800	1.2	119.342	0.001541				
10	900	1.6	134.259	0.002055				
					4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO			
					TRAMO 1	TRAMO 2		
					Esfuerzo en LPE (f_{lp})	89.506 Kg/cm2	Esfuerzo máximo (f_r)	134.259 Kg/cm2
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.000873		
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3\delta_{lp}}$	#####	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.002055					
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA RECTA ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO			
<p>La falla se presenta en la union de la viga en la parte inferior de la misma, presentandose un tipo de falla fragil.</p>					<p>Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga recta (VR-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 = 1.6 cm y carga máxima de rotura = 900 kg</p>			

TABLA E 3.

Ensayo a la flexión estática – VR-3

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS RECTAS					VIGA: VR-3	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 9.00 \text{ cm}$		$L = 290.00 \text{ cm}$		$CH\% = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$		
$h = 18.00 \text{ cm}$						
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
N° 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	100	0.5	14.918	0.000642		
2	200	0.8	29.835	0.001027		
3	300	1	44.753	0.001284		
4	400	1.3	59.671	0.001669		
5	500	1.7	74.588	0.002183		
6	600	2	89.506	0.002568		
7	700	2.2	104.424	0.002825		
8	800	2.6	119.342	0.003339		
9	900	2.85	134.259	0.003660		
10	1000	3.1	149.177	0.003981		
11	1100	3.5	164.095	0.004495		
12	1140	3.9	170.062	0.005008		
13	1200	4.2	179.012	0.005394		
14	1350	5.1	201.389	0.006549		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
			TRAMO 1	TRAMO 2		
			Esfuerzo en LPE (f_{lp})	89.506 Kg/cm ²		
			Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.002568		
			Esfuerzo máximo (f_r)	201.389 Kg/cm ²		
			Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3\delta_{lp}}$	34849.394 Kg/cm ²		
			Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.006549		
6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO						
<p>Este cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga recta (VR-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 = 5.1 cm y carga máxima de rotura = 1350 kg</p>						
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA RECTA ENSAYADA						
<p>la falla se encuentra en la union, parte inferior de la viga, el tipo de falla es fragil.</p>						

TABLA E 4.

Ensayo a la flexión estática – VR-4

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS RECTAS					VIGA: VR-4	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 9.00 \text{ cm}$		$L = 290.00 \text{ cm}$		$CH\% = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$		
$h = 18.00 \text{ cm}$						
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	100	0.09	14.918	0.000116		
2	200	0.3	29.835	0.000385		
3	300	0.5	44.753	0.000642		
4	400	0.8	59.671	0.001027		
5	500	1	74.588	0.001284		
6	600	1.6	89.506	0.002055		
7	700	2.2	104.424	0.002825		
8	800	2.85	119.342	0.003660		
9	820	3.5	122.325	0.004495		
					4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO	
					TRAMO 1	TRAMO 2
					Esfuerzo en LPE (f_{tp})	59.671 Kg/cm2
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.001027	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.004495			
Modulo de elasticidad (MOE)	$MOE = \frac{P_{tp} L^3}{4bh^3 \delta_{tp}}$ 58082.324 Kg/cm2					
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA RECTA ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO	
<p>La falla se presenta en la union de la viga en la parte inferior de la misma, presentandose un tipo de falla fragil.</p>					<p>Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga recta (VR-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 = 3.5 cm y carga máxima de rotura = 820 kg</p>	

TABLA E 5.

Ensayo a la flexión estática – VR-5

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS RECTAS					VIGA: VR-5												
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS														
$b = 9.00 \text{ cm}$		$L = 290.00 \text{ cm}$		$CH\% = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$													
$h = 18.00 \text{ cm}$																	
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) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	<p style="text-align: center;">GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA</p>												
0	0	0	0	0													
1	100	0.18	14.918	0.000231													
2	200	0.35	29.835	0.000449													
3	300	0.52	44.753	0.000668													
4	400	0.79	59.671	0.001015													
5	500	0.99	74.588	0.001271													
6	600	1.2	89.506	0.001541													
7	700	1.5	104.424	0.001926													
8	800	2.3	119.342	0.002954													
9	900	3.1	134.259	0.003981													
10	1000	3.6	149.177	0.004623													
11	1100	4.6	164.095	0.005907													
					<p style="text-align: center;">4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">TRAMO 1</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">TRAMO 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Esfuerzo en LPE (f_{tp})</td> <td style="text-align: center;">89.506 Kg/cm2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})</td> <td style="text-align: center;">0.001541</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{tp} L^3}{4bh^3 \delta_{tp}}$</td> <td style="text-align: center;">58082.324 Kg/cm2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Esfuerzo máximo (f_r)</td> <td style="text-align: center;">164.095 Kg/cm2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Deformación unitaria en LR (Du_{LR})</td> <td style="text-align: center;">0.005907</td> </tr> </tbody> </table>	TRAMO 1	TRAMO 2	Esfuerzo en LPE (f_{tp})	89.506 Kg/cm2	Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.001541	Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{tp} L^3}{4bh^3 \delta_{tp}}$	58082.324 Kg/cm2	Esfuerzo máximo (f_r)	164.095 Kg/cm2	Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.005907
TRAMO 1	TRAMO 2																
Esfuerzo en LPE (f_{tp})	89.506 Kg/cm2																
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})	0.001541																
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{tp} L^3}{4bh^3 \delta_{tp}}$	58082.324 Kg/cm2																
Esfuerzo máximo (f_r)	164.095 Kg/cm2																
Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.005907																
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA RECTA ENSAYADA																	
<p>La falla se presenta en la union de la viga en la parte inferior de la misma, presentandose un tipo de falla fragil.</p>																	
6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO																	
<p>Éste cuadro presenta datos obtenidos de laboratorio al realizar el ensayo a flexión estática de la viga recta (VR-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 = 4.6 cm y carga máxima de rotura = 1100 kg</p>																	

TABLA E 6.

Ensayo a la flexión estática – VLC-1

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS EN ARCO					VIGA: VLC-1	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS			
$b = 9.00 \text{ cm}$ $L = 290.00 \text{ cm}$ $h = 18.00 \text{ cm}$			$CH\% = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$			
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) $Du = 6 \times \delta \times h \times L^{-2}$	<div style="text-align: center;"> GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA </div>	
0	0	0	0	0		
1	200	0.1	30.350	0.000128		
2	400	0.3	60.699	0.000385		
3	600	0.4	91.049	0.000514		
4	800	0.6	121.399	0.000771		
5	1000	0.7	151.748	0.000899		
6	1200	0.9	182.098	0.001156		
7	1400	1.1	212.448	0.001413		
8	1600	1.2	242.798	0.001541		
9	1800	1.4	273.147	0.001798		
10	2000	1.6	303.497	0.002055		
11	2200	1.7	333.847	0.002183		
12	2400	1.9	364.196	0.002440		
13	2600	2.1	394.546	0.002697		
14	2800	2.3	424.896	0.002954		
15	3000	2.4	455.245	0.003082		
16	3200	2.6	485.595	0.003339		
17	3400	2.8	515.945	0.003596		
18	3600	3.0	546.295	0.003853		
19	3800	3.2	576.644	0.004109		
20	4000	3.5	606.994	0.004495		
21	4200	3.7	637.344	0.004751		
22	4400	4.0	667.693	0.005137		
23	4600	4.3	698.043	0.005522		
24	4800	4.6	728.393	0.005907		
25	5000	4.9	758.742	0.006293		
26	5480	5.3	831.582	0.006806		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
TRAMO 1					TRAMO 2	
Esfuerzo en LPE (f_{lp}) 333.847 Kg/cm2					Esfuerzo máximo (f_r) 831.582 Kg/cm2	
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE}) 0.002183						
Modulo de elasticidad (MOE) 150330.720 kg/cm2					Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.006806	
$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$						
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA EN ARCO ENSAYADA					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-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 = 5.3 cm y carga máxima de rotura = 5480 kg</p>	

TABLA E 7.

Ensayo a la flexión estática – VLC-2

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS EN ARCO					VIGA: VLC-2
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS		
$b = 9.00 \text{ cm}$ $h = 18.00 \text{ cm}$ $L = 290.00 \text{ cm}$			$CH\% = 14.75 \%$ Densidad Basica = 0.441 gr/cm^3		
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA					
N° Lectura	Carga (P) kg	Deformación (δ) cm	Esfuerzo (f)	Deformación Unitaria (Du)	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA
			$f = \frac{M(R-r)}{A \cdot r(\bar{r}-R)}$ kg/cm ²	$Du = \delta \times \delta \times h \times L^{-2}$	
0	0	0	0	0	
1	200	0.1	30.350	0.000128	
2	400	0.3	60.699	0.000385	
3	600	0.5	91.049	0.000642	
4	800	0.75	121.399	0.000963	
5	1000	0.95	151.748	0.001220	
6	1200	1.1	182.098	0.001413	
7	1400	1.3	212.448	0.001669	
8	1600	1.5	242.798	0.001926	
9	1800	1.6	273.147	0.002055	
10	2000	1.7	303.497	0.002183	
11	2200	1.9	333.847	0.002440	
12	2400	2	364.196	0.002568	
13	2600	2.15	394.546	0.002761	
14	2800	2.3	424.896	0.002954	
15	3000	2.45	455.245	0.003146	
16	3200	2.6	485.595	0.003339	
17	3400	2.75	515.945	0.003532	
18	3600	2.85	546.295	0.003660	
19	3800	3	576.644	0.003853	
20	4000	3.2	606.994	0.004109	
21	4200	3.4	637.344	0.004366	
22	4400	3.7	667.693	0.004751	
23	4600	4	698.043	0.005137	
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO					
TRAMO 1		TRAMO 2			
Esfuerzo en LPE (f_{lp})		394.546 Kg/cm ²		Esfuerzo máximo (f_r)	698.043 Kg/cm ²
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})		0.002761			
Modulo de elasticidad (MOE)		140478.18 kg/cm ²		Deformación unitaria en LR (Du_{LR})	0.005137
$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$					
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA EN ARCO ENSAYADA					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 = 4 cm y carga máxima de rotura = 4600 kg

TABLA E 8.

Ensayo a la flexión estática – VLC-3

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS EN ARCO					VIGA: VLC-3	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR					2. PROPIEDADES FÍSICAS	
$b = 9.00 \text{ cm}$ $L = 290.00 \text{ cm}$ $h = 18.00 \text{ cm}$					$CH\% = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$	
3. ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA						
N° 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) $Du = 6x\delta x h x L^{-2}$	GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA	
0	0	0	0	0		
1	200	0.4	30.350	0.000514		
2	400	0.5	60.699	0.000642		
3	600	0.8	91.049	0.001027		
4	800	1	121.399	0.001284		
5	1000	1.1	151.748	0.001413		
6	1200	1.3	182.098	0.001669		
7	1400	1.5	212.448	0.001926		
8	1600	1.7	242.798	0.002183		
9	1800	1.85	273.147	0.002376		
10	2000	2.05	303.497	0.002633		
11	2200	2.2	333.847	0.002825		
12	2400	2.7	364.196	0.003467		
13	2600	2.5	394.546	0.003210		
14	2800	2.9	424.896	0.003724		
15	3000	3.1	455.245	0.003981		
16	3200	3.4	485.595	0.004366		
17	3400	3.6	515.945	0.004623		
18	3600	3.8	546.295	0.004880		
19	3800	4.05	576.644	0.005201		
20	4000	4.3	606.994	0.005522		
21	4200	4.5	637.344	0.005779		
22	4400	4.75	667.693	0.006100		
23	4600	5.1	698.043	0.006549		
24	4800	5.3	728.393	0.006806		
25	5000	5.5	758.742	0.007063		
26	5060	5.9	767.847	0.007577		
4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO						
TRAMO 1					TRAMO 2	
Esfuerzo en LPE (f_{lp})					455.245 Kg/cm ²	
Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE})					0.003981	
Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3\delta_{lp}}$					112417.4 kg/cm ²	
					Esfuerzo máximo (f_r) 767.847 Kg/cm ²	
					Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.007577	
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA EN ARCO ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO	
					<p>Éste 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 = 5.9 cm y carga máxima de rotura = 5060 kg</p>	

TABLA E 9.

Ensayo a la flexión estática – VLC-4

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS EN ARCO					VIGA: VLC-4	
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR					2. PROPIEDADES FÍSICAS	
$b = 9.00 \text{ cm}$ $L = 290.00 \text{ cm}$ $h = 18.00 \text{ cm}$					$CH\% = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$	
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) $Du = 6 \cdot x \cdot \delta \cdot h \cdot x \cdot L^{-2}$	<p align="center">GRÁFICO ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA</p>	
0	0	0	0	0		
1	200	0.3	30.350	0.000385		
2	400	0.4	60.699	0.000514		
3	600	0.6	91.049	0.000771		
4	800	0.9	121.399	0.001156		
5	1000	1.1	151.748	0.001413		
6	1200	1.3	182.098	0.001669		
7	1400	1.5	212.448	0.001926		
8	1600	1.7	242.798	0.002183		
9	1800	2	273.147	0.002568		
10	2000	2.25	303.497	0.002889		
11	2200	2.4	333.847	0.003082		
12	2400	2.55	364.196	0.003275		
13	2600	2.8	394.546	0.003596		
14	2800	3.4	424.896	0.004366		
15	3000	3.6	455.245	0.004623		
16	3200	3.8	485.595	0.004880		
17	3400	4	515.945	0.005137		
18	3600	4.3	546.295	0.005522		
19	3800	4.8	576.644	0.006164		
20	3920	5.1	594.854	0.006549		
					4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO	
					TRAMO 1	TRAMO 2
					Esfuerzo en LPE (f_{lp}) 364.196 Kg/cm2	Esfuerzo máximo (f_r) 594.854 Kg/cm2
					Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE}) 0.003275	
					Modulo de elasticidad (MOE) $MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3 \delta_{lp}}$ 109331.43 kg/cm2	Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.006549
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA EN ARCO ENSAYADA					6. INTERPRETACIÓN GENERAL DEL CUADRO	
					<p>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 = 5.1 cm y carga máxima de rotura = 3920 kg</p>	

TABLA E 10.

Ensayo a la flexión estática – VLC-5

FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGAS LAMINADAS EN ARCO					VIGA: VLC-5			
1. DIMENSIONES DE PROBETA ESTANDAR			2. PROPIEDADES FÍSICAS					
$b = 9.00 \text{ cm}$ $h = 18.00 \text{ cm}$			$L = 290.00 \text{ cm}$ $CH\% = 14.75 \%$ $Densidad \text{ Basica} = 0.441 \text{ gr/cm}^3$					
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	200	0.05	30.350	0.000064				
2	400	0.2	60.699	0.000257				
3	600	0.3	91.049	0.000385				
4	800	0.5	121.399	0.000642				
5	1000	0.65	151.748	0.000835				
6	1200	0.78	182.098	0.001002				
7	1400	0.95	212.448	0.001220				
8	1600	1.1	242.798	0.001413				
9	1800	1.25	273.147	0.001605				
10	2000	1.4	303.497	0.001798				
11	2200	1.6	333.847	0.002055				
12	2400	1.82	364.196	0.002337				
13	2600	1.95	394.546	0.002504				
14	2800	2.05	424.896	0.002633				
15	3000	2.15	455.245	0.002761				
16	3200	2.35	485.595	0.003018			4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL GRÁFICO	
17	3400	2.49	515.945	0.003198			TRAMO 1	
18	3600	2.55	546.295	0.003275			Esfuerzo en LPE (f_{lp}) 455.245 Kg/cm2	
19	3800	2.7	576.644	0.003467			Deformación unitaria en LPE (Du_{LPE}) 0.002761	
20	4000	2.82	606.994	0.003621			Modulo de elasticidad (MOE)	
21	4200	2.9	637.344	0.003724			$MOE = \frac{P_{lp} L^3}{4bh^3\delta_{lp}}$ 162090.21 kg/cm2	
22	4400	3.03	667.693	0.003891			Esfuerzo máximo (f_r) 682.868 Kg/cm2	
23	4500	3.1	682.868	0.003981	Deformación unitaria en LR (Du_{LR}) 0.003981			
5. DESCRIPCIÓN DE VIGA LAMINADA EN ARCO ENSAYADA					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-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 = 3.1 cm y carga máxima de rotura = 4500 kg</p>			

ANEXOS

Anexo A: Tablas para el pre dimensionamiento de las vigas rectas macizas

a. Sobrecargas de servicio

Ocupación o Uso	kg/m ²	Ocupación o Uso	kg/m ²
– Azoteas planas	100	– Graderías y tribunas	500
– Baños	200	– Oficinas	250
– Bibliotecas, salas de lectura	300	– Oficinas, archivos	500
– Bibliotecas, archivo	750	– Salas de asamblea o reunión	500
– Colegios, aulas	200	– Techos inclinados	50
– Colegios, talleres	350	– Tiendas, minoristas	350
– Corredores públicos	500	– Tiendas, mayoristas	500
– Escaleras de viviendas	200	– Vestidores	200
– Escaleras públicas	500	– Viviendas unifamiliares	200

Tipo de vigas	Deformaciones máximas admisibles considerando	
	Exclusivamente sobrecarga	Peso propio más 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
1.2.1 sin cielos enyesados o similares	-	L/300

b. Esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad para maderas del grupo andino

Propiedades kg/cm ²	GRUPO		
	A	B	C
$E_{0.05}$ o $E_{mín}$	95,000	75,000	55,000
E_{prom}	130,000	100,000	90,000
f_m	210	150	100
f_c	145	110	80
$f_{c\perp}$	40	28	15
f_v	15	12	8
f_t	145	105	75

c. Tabla para hallar las dimensiones de la viga recta

TABLA 13.1 PROPIEDADES DE ESCUADRIA

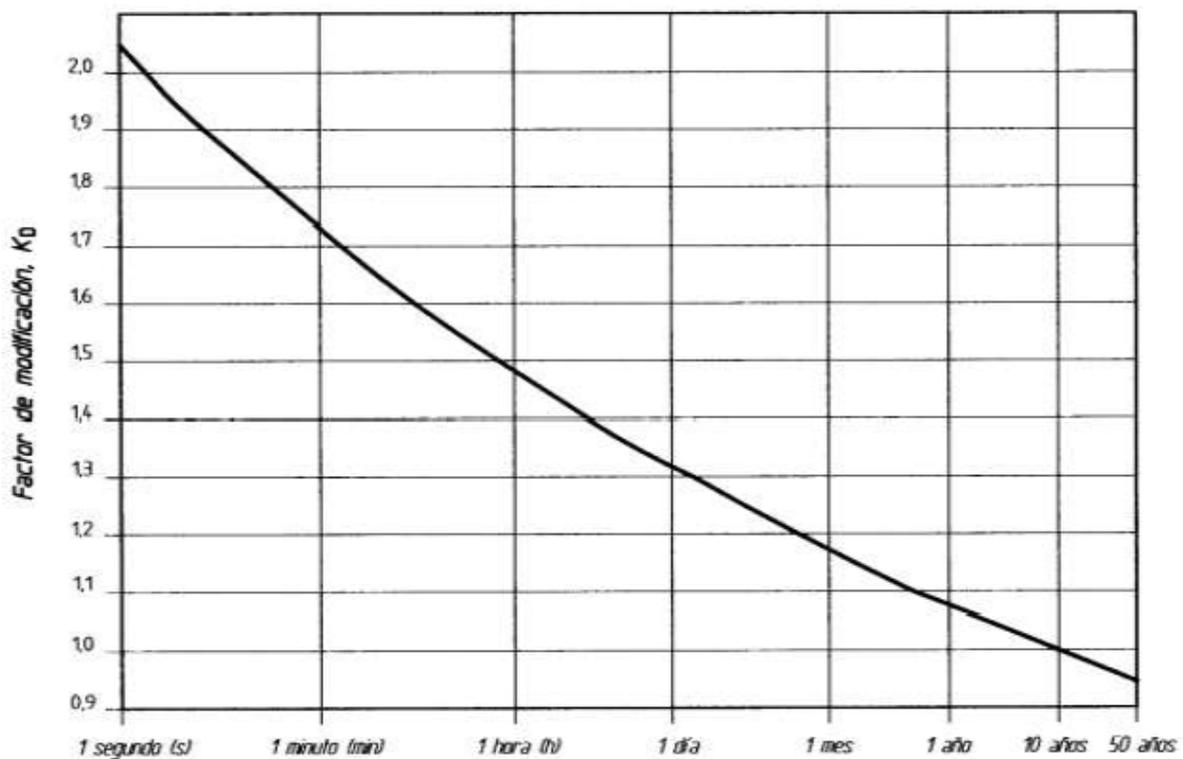
Dimensiones		Area cm ²	Eje X		Eje Y		m ³ de madera por m (*) m ³ / m	Peso por m (**)		
Real b x h cm	Equivalente Comercial b x h pulg		I _x cm ⁴	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	Z _y cm ³		Grupo		
								A kg/m	B kg/m	C kg/m
1.5 x 2	3/4 x 1	3.0	1.0	1.0	0.6	0.7	0.00048	0.33	0.30	0.27
1.5 x 4	3/4 x 2	6.0	8.0	4.0	1.1	1.5	0.00097	0.66	0.60	0.54
1.5 x 6.5	3/4 x 3	9.7	34.3	10.6	1.8	2.4	0.00144	1.07	0.97	0.88
1.5 x 9	3/4 x 4	13.5	91.1	20.2	2.5	3.3	0.00193	1.48	1.35	1.21
1.5 x 14	3/4 x 6	21.0	343.0	49.0	3.9	5.2	0.00290	2.31	2.10	1.89
1.5 x 19	3/4 x 8	28.5	857.4	90.2	5.3	7.1	0.00387	3.13	2.85	2.56
1.5 x 24	3/4 x 10	36.0	1728.0	144.0	6.7	9.0	0.00484	3.96	3.60	3.24
1.5 x 29	3/4 x 12	43.5	3048.6	210.2	8.1	10.9	0.00580	4.78	4.35	3.91
2 x 2	1 x 1	4.0	1.3	1.3	1.3	1.3	0.00064	0.44	0.40	0.36
2 x 4	1 x 2	8.0	10.7	5.3	2.7	2.6	0.00130	0.88	0.80	0.72
2 x 6.5	1 x 3	13.0	45.8	14.1	4.3	4.3	0.00193	1.43	1.30	1.17
2 x 9	1 x 4	18.0	121.5	27.0	6.0	6.0	0.00257	1.98	1.80	1.62
2 x 14	1 x 6	28.0	457.3	65.3	9.3	9.3	0.00387	3.08	2.80	2.52
2 x 19	1 x 8	38.0	1143.2	120.3	12.7	12.6	0.00517	4.18	3.80	3.42
2 x 24	1 x 10	48.0	2304.0	192.0	16.0	16.0	0.00644	5.28	4.80	4.32
2 x 29	1 x 12	58.0	4064.8	280.3	19.3	19.3	0.00774	6.38	5.80	5.22
3 x 3	1 1/2 x 1 1/2	9.0	6.7	4.5	6.7	4.5	0.00144	0.99	0.90	0.81
3 x 4	1 1/2 x 2	12.0	16.0	8.0	9.0	6.0	0.00193	1.32	1.20	1.08
3 x 6.5	1 1/2 x 3	19.5	68.6	21.1	14.6	97.5	0.00290	2.14	1.95	1.75
3 x 9	1 1/2 x 4	27.0	182.2	40.5	20.2	13.5	0.00387	2.97	2.70	2.43
3 x 14	1 1/2 x 6	42.0	686.0	98.0	31.5	21.0	0.00580	4.62	4.20	3.78
3 x 19	1 1/2 x 8	57.0	1714.7	180.5	42.7	28.5	0.00774	6.27	5.70	5.13
3 x 24	1 1/2 x 10	72.0	3456.0	288.0	54.0	36.0	0.00967	7.92	7.20	6.48
3 x 29	1 1/2 x 12	87.0	6097.3	420.5	65.2	43.5	0.01161	9.57	8.70	7.83
4 x 4	2 x 2	16.0	21.3	10.7	21.3	10.7	0.00257	1.76	1.60	1.44
4 x 6.5	2 x 3	26.0	91.5	28.2	34.7	17.3	0.00387	2.86	2.60	2.34
4 x 9	2 x 4	36.0	243.0	54.0	48.0	24.0	0.00517	3.96	3.60	3.24
4 x 14	2 x 6	56.0	914.6	130.7	74.7	37.3	0.00774	6.16	5.60	5.04
4 x 16.5	2 x 7	66.0	1497.4	181.5	88.0	49.0	0.00904	7.26	6.60	5.94
4 x 19	2 x 8	76.0	2286.3	240.6	101.3	50.7	0.01031	8.36	7.60	6.84
4 x 24	2 x 10	96.0	4608.0	384.0	128.0	64.0	0.01291	10.56	9.60	8.64
4 x 29	2 x 12	116.0	8129.7	560.6	154.7	77.3	0.01548	12.78	11.60	10.44
5 x 5	2 1/2 x 2 1/2	25.0	52.1	20.8	52.1	20.8	0.00404	2.75	2.50	2.25
5 x 6.5	2 1/2 x 3	32.5	114.4	35.2	67.7	27.1	0.00484	3.57	3.25	2.92
5 x 9	2 1/2 x 4	45.0	303.7	67.5	93.7	37.5	0.00644	4.95	4.50	4.05
5 x 14	2 1/2 x 6	70.0	1143.3	163.3	145.8	58.3	0.00967	7.70	7.00	6.30
5 x 16.5	2 1/2 x 7	82.5	1871.7	226.9	171.9	68.7	0.01128	9.07	8.25	7.42
5 x 19	2 1/2 x 8	95.0	2857.9	300.8	197.9	79.1	0.01291	10.45	9.50	8.55
5 x 24	2 1/2 x 10	120.0	5760.0	480.0	250.0	100.0	0.01612	13.20	12.00	10.80
5 x 29	2 1/2 x 12	145.0	10162.1	700.8	302.1	120.8	0.01935	15.95	14.50	13.05
6.5 x 6.5	3 x 3	42.2	148.7	45.7	148.7	45.7	0.00580	4.64	4.22	3.80
6.5 x 9	3 x 4	58.5	394.9	87.7	206.0	63.4	0.00774	6.43	5.85	5.26
6.5 x 14	3 x 6	91.0	1486.3	212.3	320.4	98.8	0.01161	10.01	9.10	8.19
6.5 x 16.5	3 x 7	107.2	2433.2	294.9	377.6	116.2	0.01354	11.80	10.72	9.65
6.5 x 19	3 x 8	123.5	3715.3	391.1	434.8	133.8	0.01548	13.58	12.35	11.11
6.5 x 24	3 x 10	156.0	7488.0	624.0	549.2	169.0	0.01935	17.16	15.60	14.04
6.5 x 29	3 x 12	188.5	13210.7	911.1	663.7	204.2	0.02322	20.73	18.85	16.96
9 x 9	4 x 4	81.0	546.7	121.5	546.7	121.5	0.01031	8.91	8.13	7.29
9 x 14	4 x 6	126.0	2058.0	294.0	850.5	189.0	0.01548	13.96	12.60	11.34
9 x 16.5	4 x 7	148.5	3361.1	408.3	1002.4	222.7	0.01808	16.33	14.81	13.34
9 x 19	4 x 8	171.0	5144.2	541.5	1154.2	256.5	0.02065	18.31	17.10	15.39
9 x 24	4 x 10	216.0	10368.0	864.0	1458.0	324.0	0.02579	23.76	21.60	19.44
9 x 29	4 x 12	261.0	18291.8	1261.0	1761.7	391.5	0.03096	28.71	26.10	23.49

Anexo B: Tabla para el diseño de viga laminada en forma de arco

a). **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

b). **Factor de modificación por duración de carga.**



$$K_D = \frac{1,747}{t^{0,0464}} + 0,295$$

t = duración de la carga, en segundos

c). **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 periodos 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

a). 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			
		Para módulo de elasticidad	Para otras propiedades	K_Q
Verde	0,95	0,85	Madera aserrada	0,90
			Postes	0,90
Seco	0,90	0,70	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 C: Ficha técnica de Teknocola Extra



HOJA TECNICA

PRODUCTO: **TEKNOCOLA EXTRA**

CÓDIGO: **087-0002**

1. DESCRIPCIÓN

TEKNOCOLA EXTRA es un pegamento a base de poliacetato de vinilo, adecuado para la unión de todo tipo de madera entre sí. Es una cola sintética de secado rápido que desarrolla una fuerte adherencia en las uniones de madera.

2. USOS DEL PRODUCTO

- Pegamento adecuado para la unión de todo tipo de madera entre sí.
- Une maderas de canto.
- Puertas contraplacadas.
- Enchapes de aglomerados
- Fabricación de Tableros.

3. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Tipo de Adhesivo	:	Acuoso
Base	:	Polivinil acetato en emulsión acuosa
Color	:	Blanco
Contenido de sólidos en peso	:	41 – 44 %
Densidad	:	1.01 – 1.08 g/ml
Viscosidad de Entrega (Brookfield RVT spin 4/5 rpm a 23°C)	:	11 000 – 18 000 cps
Película	:	Transparente
Tiempo útil de Almacenaje	:	En lugares ventilados, bajo sombra a temperaturas entre 15° - 25°C hasta 9 meses en su envase original sellado.

4. FORMA DE USO

□ Preparación de superficie

- Cepille la madera con cepillo de carpintero.
- Aplique el adhesivo sobre la superficie limpia y libre de polvo, grasa o agua.

□ Aplicación

Método de Aplicación	:	Brocha o espátula
Tipo sustrato	:	madera, cartón, papel, tekpor
Presión recomendada	:	50 – 100 lb/pulg ²
Diluyente	:	Agua
Nº de capas	:	1
Secado en prensa	:	1 – 3 horas
Rendimiento Teórico	:	
Aplicado a una superficie	:	1 kilo rinde 5 m ² o 150-200 g/m ²
Aplicado a ambas Superficies	:	1 kilo rinde 4 m ² o 200-250 g/m ²

□ Secuencia de Aplicación

- Aplicar **TEKNOCOLA EXTRA** con brocha, espátula o rodillo, se aplica una película que cubra de blanco toda la superficie y se une rápidamente a la otra superficie ejerciendo presión para asegurar la penetración del adhesivo.
- Si se aplica **TEKNOCOLA EXTRA** a ambas superficies, estas pueden estar algunos minutos expuestas al ambiente, luego se unen las superficies aplicando presión de 1 a 3 horas. Se logra la máxima fuerza de unión a las 24 horas.
- Retirar los excesos de cola con un paño húmedo, antes que el producto seque.

5. PRECAUCIONES EN SU USO

- Mantener fuera del alcance de los niños.
- El contacto prolongado con el producto puede causar irritación en pieles sensibles, se recomienda utilizar guantes.
- En caso de contacto con los ojos lave con abundante agua durante al menos 15 minutos. Si la irritación persiste consulte a un médico. Evite accidentes usando gafas de protección.
- Lávese las manos o área de contacto con suficiente agua y jabón.

6. PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO

CÓDIGO DE PRESENTACIÓN	TIPO	CONTENIDO NETO (L)	PIEZAS POR PRESENTACIÓN
018	Balde Plástico	3.81	1
038	Balde Plástico	3.81	1
115	Cilindro 100 kg	100	1

TEKNOQUIMICA S.A.
Av. César Vallejo 1877 El Agustino, Lima 10 – Perú
☎612-6000 📠(511)612-6001 612-6002 612-6004 612-6006 612-6007 R.U.C. 20101292658
www.tekno.com.pe



Hta0171-Rev00

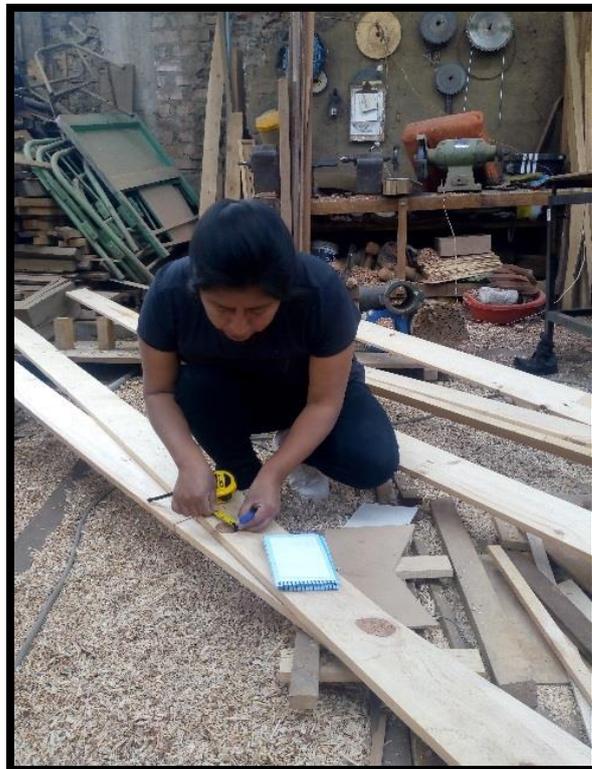
Anexo D: Panel fotográfico

PANEL FOTOGRAFICO

FOTOGRAFIA 01. Midiendo el contenido de humedad de las vigas con el higrómetro, antes de meter al horno



FOTOGRAFIA 02. Tesista midiendo los nudos de las láminas y ensayando las probetas.



FOTOGRAFIA 03. Ensayando las probetas de 5cm x 5cm x 75 cm



FOTOGRAFIA 04. Construcción de las vigas laminadas en arco.



FOTOGRAFIA 05. Construcción de las vigas laminadas en arco.



FOTOGRAFIA 06. Ensayo a flexión de las vigas rectas macizas.



FOTOGRAFIA 07. Ensayo a flexión de las vigas laminadas en arco.



FOTOGRAFIA 08. Ensayo a flexión de las vigas laminadas en arco, aplicando carga.





Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



El jefe del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca expide, la siguiente:

CONSTANCIA

A nombre de la Bach. CUSQUISIBAN AQUINO MARÍA NOEMI, Exalumna de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, que se han realizado las siguientes actividades:

ÍTEM	DETALLE
01	Ensayo a flexión en probetas.
02	Ensayo a flexión en vigas curvas.
03	Ensayo a flexión en vigas rectas.

Para la Tesis Titulada: "COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS LAMINADAS EN FORMA DE ARCO Y VIGAS MACIZAS RECTAS DE MADERA DE PINO RADIATA SOMETIDOS A CARGA CENTRAL". Las actividades se desarrollaron del 01 de abril al 26 de abril 2024.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 28 de agosto de 2024.

Atentamente:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Mauro Centurión Vargas
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

c.c. a:
_Archivo