



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE**  
**CONSTRUCCIONES**

**Comparación del diseño y evaluación de miembros  
estructurales de madera laminada encolada con uniones  
dentadas, de Pino Radiata y Eucalyptus Globulus.**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de:**  
**INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE**  
**CONSTRUCCIONES**

**Autor:**  
**PABLO TADEO SANANGO JARA**

**Director:**  
**VLADIMIR EUGENIO CARRASCO CASTRO**

**CUENCA – ECUADOR**

**2017**

## **DEDICATORIA**

A mis padres José y Cecilia por su incondicional amor, apoyo y esfuerzo.

A mis hermanos por su grata compañía, ejemplo y apoyo para poder alcanzar todas  
mis metas.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme vivir este momento en compañía de mis familiares y por su gloriosa creación de la que ahora he podido estudiar una pequeña parte.

A mis padres por despertar en mí el amor y curiosidad por la madera.

A mi Director de tesis, Ingeniero Vladimir Carrasco por su apoyo, conocimientos y guía en la realización de este proyecto.

Al Ingeniero José Vázquez por su ayuda incondicional para tener éxito en este trabajo de grado.

A mis amigos por acompañarme en este maravilloso viaje lleno de retos.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
1.1 Antecedentes generales del Eucalipto globulus .....	6
1.1.1 Caracterización del eucalipto .....	6
1.2 La madera .....	7
1.2.1 Descripción.....	7
1.2.2 Propiedades físicas de la madera.....	8
1.2.2.1 Contenido de humedad .....	8
1.2.2.2 Anisotropía .....	9
1.2.2.3 Densidad .....	10
1.2.2.4 Hinchazón o merma .....	10
1.2.3 Propiedades mecánicas de la madera .....	10
1.2.3.1 Resistencia a la compresión.....	10
1.2.3.2 Resistencia a la tracción.....	11
1.2.3.3 Resistencia a la flexión .....	11
1.2.3.4 Resistencia a los esfuerzos cortantes .....	11
1.2.3.5 Módulo de elasticidad (MOE) .....	12
1.2.3.6 Módulo de rotura (MOR).....	12
1.3 Antecedentes generales de la madera laminada encolada .....	12
1.3.1 Definición de madera laminada encolada (MLE) .....	13

1.3.2	Proceso de fabricación.....	13
1.3.2.1	Preparación de la madera.....	13
1.3.2.2	Tratado de la madera.....	14
1.3.2.3	Encolado .....	14
1.3.2.4	Ensamblado.....	15
1.3.2.5	Acabado final.....	15
1.4	Parámetros del estudio.....	15
1.4.1	Bases de cálculo .....	16
1.4.2	Tipo de laminación.....	16
1.4.3	Adhesivo.....	17
<b>CAPÍTULO 2: MARCO LEGAL.....</b>		<b>19</b>
2.1	Normativas .....	19
2.1.1	Resumen de normas utilizadas .....	20
2.2	Clasificación visual del Eucalipto Globulus.....	20
2.2.1	Clasificación.....	20
2.2.2	Especificaciones generales de los grados estructurales.....	21
2.2.2.1	Contenido de humedad .....	21
2.2.2.2	Método de clasificación.....	21
2.2.2.3	Especificaciones particulares para los grados estructurales .....	21
2.3	Tensiones admisibles para eucalipto .....	25
2.4	Consideraciones para obtener las propiedades físicas de la madera según norma NCh176.....	27
2.4.1	Determinación de humedad.....	27
2.4.2	Determinación de la densidad .....	28
2.5	Consideraciones para obtener las propiedades mecánicas de la madera según las normas, JAS for glued laminated timber y ASTM D 143 – 94 .....	29
2.5.1	Ensayo de flexión .....	29
Fuente: (INFOR, 2000).....		30
2.5.2	Ensayo de flexión en láminas empalmadas .....	31
2.5.3	Ensayo de bloque de cizalle en MLE .....	31
2.5.4	Ensayo de compresión paralelo a las fibras.....	32

2.5.5	Ensayo de flexión en escala real de MLE rectas .....	32
-------	--	----

### **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA..... 34**

3.1	Obtención de datos experimentales. ....	34
3.1.1	Análisis de la madera previo a ser ensayada .....	34
3.1.1.1	Secado artificial de la madera. ....	35
3.1.2	Ensayos de las propiedades físicas de la madera.....	36
3.1.2.1	Preparación de las probetas .....	36
3.1.2.2	Equipos utilizados para la elaboración de ensayos.....	36
3.1.2.3	Determinación del contenido de humedad (CH) .....	37
3.1.2.4	Determinación de la densidad.....	39
3.1.3	Ensayos de las propiedades mecánicas de la madera .....	40
3.1.3.1	Preparación de las probetas .....	40
3.1.3.2	Equipos utilizados para la elaboración de ensayos.....	41
3.1.3.3	Ensayo de compresión paralelo a las fibras. ....	43
3.1.3.4	Ensayo de flexión en láminas homogéneas .....	44
3.1.3.5	Ensayo de bloque de cizalle en la línea de cola para MLE.....	47
3.1.3.6	Ensayo de flexión en láminas empalmadas .....	49
3.1.4	Ensayo de flexión en MLE a escala real .....	51

### **CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... 54**

4.1	Propiedades físicas del Eucalipto globulus .....	54
4.2	Propiedades mecánicas del Eucalipto globulus.....	54
4.3	Módulo de elasticidad y de rotura en vigas a escala real .....	55
4.3.1	Hipótesis de falla .....	56
4.4	Valores de las propiedades físicas y mecánicas del eucalipto globulus y el pino radiata.....	59
4.5	Valor de las tensiones de diseño calculadas para pórtico de MLE en pino y eucalipto .....	60

<b>CONCLUSIONES</b> .....	61
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	65
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	66
<b>ANEXOS</b> .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Propiedades MUF .....	18
Tabla 2.1: Resumen de Normas Utilizadas .....	20
Tabla 2.2: Clasificación visual de madera latifoliada destinada a uso estructural.....	22
Tabla 2.3: Arqueaduras y encorvaduras máximas admisibles para madera aserrada	23
Tabla 2.4: Arqueaduras y encorvaduras máximas admisibles para madera aserrada	24
Tabla 2.5: Torcedura equivalente máxima admisible para madera aserrada .....	24
Tabla 2.6: Torcedura equivalente máxima admisible para madera cepillada .....	25
Tabla 2.7: Tensiones admisibles y módulo de elasticidad en flexión para madera aserrada, en MPa .....	26
Tabla 2.8: Relación entre el agrupamiento de especie, la clase estructural y la clasificación visual de madera en estado verde.....	26
Tabla 2.9: Relación entre el agrupamiento de especie, la clase estructural y la clasificación visual de madera en estado seco .....	27
Tabla 2.10: MOE y MOR para ensayos preliminares .....	30
Tabla 2.11: Requisitos para el ensayo de bloque de cizalle.....	32
Tabla 3.1: Contenido de humedad natural de la madera.....	38
Tabla 3.2: Contenido de humedad posterior al secado artificial.....	38
Tabla 3.3: Densidad de referencia.....	39
Tabla 3.4: Densidad anhidra .....	40
Tabla 3.5: Resistencia a la compresión .....	43
Tabla 3.6: Valores del MOE y MOR para láminas homogéneas.....	46
Tabla 3.7: Resistencia a cizalle, adhesivo resincola .....	47
Tabla 3.8: Resistencia a cizalle, adhesivo MUF .....	48
Tabla 3.9: Valores del MOE y MOR para láminas empalmadas, unión vertical.....	50
Tabla 3.10: Valores del MOE y MOR para láminas empalmadas, unión horizontal.	50
Tabla 4.1: Propiedades físicas del eucalipto .....	54
Tabla 4.2: Propiedades mecánicas del eucalipto.....	54
Tabla 4.3: Valores de MOE y MOR de vigas a escala real.....	55
Tabla 4.4: Carga última de diseño - Carga de falla.....	58
Tabla 4.5: Propiedades físico - mecánicas del pino radiata y eucalipto globulus.....	59
Tabla 4.6: Tensiones de diseño calculadas para pino y eucalipto.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Madera de eucalipto globulus.....	6
Figura 1.2: Partes del tronco .....	8
Figura 1.3: Direcciones respecto a la fibra.....	9
Figura 1.4: Resistencia a la compresión según la dirección de las fibras .....	11
Figura 1.5: Acción del esfuerzo de corte .....	12
Figura 1.6: Perfil horizontal y vertical para finger joint .....	14
Figura 1.7: Edificio residencial E3 de 7 alturas de madera en la calle Esmarch, Berlín. Agosto 2007 - mayo 2008 .....	15
Figura 1.8: Laminación Horizontal - Laminación Vertical.....	17
Figura 2.1: Arqueadura – Encorvadura.....	24
Figura 2.2: Torcedura.....	25
Figura 2.3: Esquema para ensayo a flexión .....	29
Figura 2.4: Diagrama Carga - Deformación .....	30
Figura 2.5: Esquema del dispositivo de cizalle.....	31
Figura 2.6: Esquema del ensayo a flexión en escala real de MLE.....	33
Figura 3.1: Estado de la madera antes de ser tratada .....	34
Figura 3.2: Curado de la madera.....	35
Figura 3.3: Secado artificial de la madera.....	36
Figura 3.4: Balanza electrónica.....	36
Figura 3.5: Estufa eléctrica .....	37
Figura 3.6: Calibrador .....	37
Figura 3.7: Prensa hidráulica 250000 lb .....	41
Figura 3.8: Prensa hidráulica 10000 lb .....	41
Figura 3.9: Deformímetro 0.001 in de precisión.....	42
Figura 3.10: Dispositivo para aplicación de cargas en ensayo a flexión .....	42
Figura 3.11: Dispositivo de soporte en ensayo a cizalle .....	42
Figura 3.12: Ensayo de compresión en eucalipto.....	44
Figura 3.13: Disposición de cargas y apoyos para ensayo a flexión, (cm) .....	45
Figura 3.14: Cálculo típico del MOE y MOR en flexión.....	45
Figura 3.15: Ensayo a flexión en eucalipto.....	46
Figura 3.16: Ensayo de cortante en la línea de cola en eucalipto. ....	48
Figura 3.17: Probeta con unión finger joint vertical .....	49

Figura 3.18: Probeta con unión finger joint horizontal .....	49
Figura 3.19: Vigas de madera laminada de eucalipto .....	52
Figura 3.20: Ensayo de flexión en MLE a escala real.....	53
Figura 4.1: Fallo por flexión en la madera laminada .....	56
Figura 4.2: Fallo de la madera laminada por flexión .....	57
Figura 4.3. Fallo por desprendimiento de cola en las uniones dentadas .....	57

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Cálculo del MOE y MOR para láminas homogéneas .....	68
Anexo 2: Cálculo del MOE y MOR para láminas empalmadas con finger joint vertical .....	82
Anexo 3: Cálculo del MOE y MOR para láminas empalmadas con finger joint horizontal .....	87
Anexo 4: Proceso de fabricación de vigas de MLE .....	92
Anexo 5: Cálculo del MOE y MOR para vigas a escala real.....	95
Anexo 6: Cálculo de cargas últimas para vigas a escala real ensayadas a flexión.....	97
Anexo 7: Cálculo de tensiones de diseño para pórtico de MLE en eucalipto.....	99

**COMPARACIÓN DEL DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MIEMBROS  
ESTRUCTURALES DE MADERA LAMINADA ENCOLADA CON  
UNIONES DENTADAS, DE PINO RADIATA Y EUCALYPTUS GLOBULUS**

**RESUMEN**

El presente trabajo corresponde a la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera Eucalipto Globulus apta para elaborar elementos de madera laminada encolada, además del diseño de miembros estructurales bajo los criterios expuestos por la norma chilena y japonesa sobre estructuras de madera. Ensayos de compresión, flexión, cortante, resistencia de adhesivos, resistencia de uniones dentadas verticales y horizontales y flexión en vigas a escala real, determinan los parámetros técnicos para el diseño y fabricación de este tipo de elementos con el objetivo de compararlos con las propiedades de la madera Pino Radiata.

**Palabras clave:** Madera laminada encolada, uniones dentadas, estructuras de madera, elementos estructurales, Eucalipto Globulus.



Vladimir Eugenio Carrasco Castro  
**Director del trabajo de Titulación**



José Fernando Vázquez Calero  
**Director de Escuela**



Pablo Tadeo Sanango Jara  
**Autor**

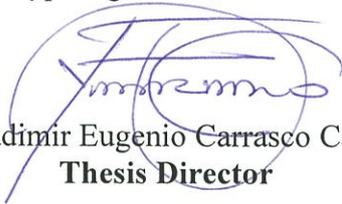
**COMPARISON OF THE DESIGN AND EVALUATION OF FINGER JOINTED  
GLUED LAMINATED TIMBER STRUCTURAL MEMBERS OF RADIATE PINE  
AND EUCALYPTUS GLOBULUS**

**ABSTRACT**

This study deals with the evaluation of the physical and mechanical properties of Eucalyptus globulus wood, which is suitable for the elaboration of glued laminated wood elements. This research also includes the design of structural members under the criteria set forth by the Chilean and Japanese standard on wood structures.

Tests to verify compression, bending, shear, adhesive resistance, vertical and horizontal finger joints strength, as well as bending in real-scale beams determine the technical parameters for the design and manufacture of these elements in order to compare them with the properties of Radiata Pine wood.

**Keywords:** Glued Laminated Wood, Finger Joints, Wood Structures, Structural Elements, Eucalyptus globulus



Vladimir Eugenio Carrasco Castro  
**Thesis Director**



José Fernando Vázquez Calero  
**School Director**



Pablo Tadeo Sanango Jara  
**Author**



UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
Dpto. Idiomas



Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

Pablo Tadeo Sanango Jara

Trabajo de Graduación

Ing. Vladimir Eugenio Carrasco Castro M.Sc.

Febrero, 2017

**COMPARACIÓN DEL DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MIEMBROS  
ESTRUCTURALES DE MADERA LAMINADA ENCOLADA CON  
UNIONES DENTADA, DE PINO RADIATA Y EUCALYPTUS GLOBULUS.**

**INTRODUCCIÓN**

La madera laminada encolada (MLE) ha permitido que la madera tenga un mayor desempeño en la construcción debido a que soluciona problemas comunes que limitan su uso, como son: luces y secciones reducidas y piezas agrietadas o encorvadas con alto contenido de humedad; es así que en países industrializados como, Estados Unidos, España o Alemania, se contempla a la madera como el principal material de construcción para viviendas de uno a tres pisos y de estructuras exclusivas para coliseos, bodegas o edificios; conociendo los grandes beneficios de este material, estos países han desarrollado diversas normas de cálculo y clasificación para las especies de madera aptas para construir. Ecuador cuenta con normas para la clasificación y diseño de estructuras de madera como el Manual de diseño para maderas del grupo andino, NEC-SE-MD, NTE INEN 2580, entre otras; aunque en el tema de MLE no se ha desarrollado ninguna normativa.

El Ecuador es un país con gran capacidad forestal que cuenta con diversos climas para el cultivo de varias especies madereras, el Pino y el Eucalipto son las más abundantes en la región austral, pero el uso de este recurso está destinado principalmente a la industria del mueble, tableros laminados de fibras, encofrados y leña, muy poco se utiliza como material estructural, esto ya sea por el desconocimiento de los beneficios de la madera, cómo usarla o por la complejidad para encontrar elementos estructurales de dimensiones superiores a las comercializadas.

Este proyecto se forma como la continuación del estudio realizado en 2015 por estudiantes de la Universidad del Azuay que titula: “Diseño y evaluación de miembros estructurales en madera laminada encolada (M.L.E.) con uniones dentadas (finger joint), en Pino Radiata”. Apoyados en los resultados obtenidos por este estudio se pretende comparar las propiedades físicas y mecánicas del Pino con el Eucalipto, que es la madera que analizará este proyecto. Para ello se realizarán ensayos con el fin de determinar dichas características con las mismas especificaciones y bases de cálculo para poder de esta manera tener una comparación confiable y segura.

Ensayos como compresión paralela a las fibras, flexión, y cortante; contenido de humedad y densidad, además de pruebas a flexión en vigas de 3 y 4.5 metros de luz, son los que determinarán las propiedades de la madera de eucalipto. Posterior a las pruebas los datos obtenidos serán analizados estadísticamente para obtener parámetros confiables que puedan usarse en el diseño de miembros estructurales.

### **Problemática**

El uso limitado de la madera como material estructural en la construcción, sabiendo que nuestro país es propicio para la plantación y cultivo de varias especies madereras; la falta de información sobre la capacidad tanto estética como resistente, además de la escasa elaboración de productos aptos para la construcción a base de este material, motiva a desarrollar estudios para determinar sus propiedades, y con esto permitir a los proyectistas y constructores contar con una fuente de información confiable sobre este recurso.

El Eucalipto y el Pino son especies comunes en nuestra zona (Azuay y Cañar) que pueden ser utilizados para este fin y de esta manera impulsar el uso de este recurso 100% renovable. En nuestro país, el uso de la madera en la construcción está restringido por la escasa información técnica, infraestructura de producción inadecuada, ausencia de normativas y además, debido a prejuicios derivados del desconocimiento del material por parte de los usuarios.

## **Antecedentes**

La madera es históricamente uno de los materiales más utilizados por el hombre. Actualmente, en la mayoría de los países desarrollados su uso como material estructural alcanza más del 90% de la construcción habitacional de 1 a 4 pisos. (Centro de Transferencia Tecnológica, 2004).

En el Ecuador está vigente la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2014, que cuenta con un capítulo destinado a la construcción de estructuras de madera. El “Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino” es el resultado del estudio realizado por técnicos de los países miembros de la Comunidad Andina, mismo que pretende aportar de manera significativa con información sobre tecnologías de la madera, ingeniería de la madera y técnicas de construcción con madera tropical.

Los países como: Japón, Chile, Estados Unidos o Australia han elaborado diversas normas de cálculo sobre estructuras de madera, seguridad y aplicación; Ecuador al ser un país con capacidad de producción de este recurso forestal, puede adoptar estas normativas y aplicarlas usando las especies propias de nuestro entorno y así impulsar el uso de este material.

La madera laminada encolada es una solución que permite introducir a la madera en el área de la construcción, pues son varias las ventajas que posee este material con respecto a los tradicionales como el acero y el hormigón. La madera a igualdad de peso es cuatro veces más resistente que el hierro y presenta en relación a este, bajo consumo de energía en su elaboración y utilización. (Demkoff, 2003)

## **Justificación**

La madera es una fuente indiscutible de oxígeno para los seres vivos, también absorbe el dióxido de carbono presente en el aire y para su transformación en material de construcción requiere de menor energía, por lo tanto menor emisión de gas carbónico. El Pino ha demostrado ser una especie idónea para el uso como material estructural en la construcción de vivienda, varios estudios demuestran que sus características tanto físicas como mecánicas lo hacen el favorito en lugares como Chile y España; sin dejar de lado a este material, el Eucalipto es también una especie que a simple vista cuenta con las características necesarias para ser introducido en el área de la construcción.

Las ventajas que presenta la M.L.E. con respecto a materiales de construcción tradicionales como el acero y el hormigón son varias, la baja relación peso-resistencia y versatilidad para acoplarse a diversas formas, son algunas de las características que hacen de la madera laminada un producto para la construcción que debe ser implementada en nuestro país, además, su acabado natural permite que los elementos estructurales queden expuestos y así armonizar los ambientes con este bello recurso que nos brinda la naturaleza.

La madera, si bien es combustible, no es inflamable. Debido a su estructura celular y muy baja conductividad del calor, resiste al desarrollo del fuego; la posibilidad de que arda depende de su distancia al foco de fuego y de que sea alcanzada directamente por las llamas. (Fournier Zepeda, 2008)

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Comparar las propiedades físicas y mecánicas de la madera, destinada a elementos estructurales de MLE, de eucalipto y pino.

### **Objetivos Específicos:**

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera laminada encolada en eucaliptus globulus, estas son:
  - Contenido de humedad
  - Densidad
  - Resistencia a la compresión paralela a las fibras
  - Resistencia al corte en la línea de cola paralela a fibras
  - Módulo de elasticidad en flexión
  - Módulo de rotura en flexión.
- Comparar los resultados obtenidos posteriores a los ensayos con las tensiones admisibles que contemplan en la norma “Madera – Construcciones de madera – Cálculo” y “Japanese Agricultural Standard for Glued Laminated Timber”.

- Determinar si la madera de eucalipto es apta para usarse en elementos estructurales de madera laminada encolada.
- Ensayo de vigas a escala real para determinar sus propiedades mecánicas.
- Diseño de pórtico en madera laminada de eucalipto siguiendo la norma chilena NCh 1198 de 2006.

### **Hipótesis**

Tanto las probetas como las vigas a escala real elaboradas con láminas de madera de eucalipto presentan propiedades físicas y mecánicas superiores a las vigas y probetas de madera de pino.

## CAPÍTULO 1

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Antecedentes generales del Eucalipto globulus

El eucalipto globulus es una especie proveniente de Australia, específicamente de la región de Tasmania. Durante el siglo XIX fue introducida en países como Ecuador, Uruguay, España, entre otros; su gran resistencia y durabilidad ha sido motivo por el cual esta madera ha sido utilizada desde su descubrimiento en obras civiles como viviendas, puentes, etc.

##### 1.1.1 Caracterización del eucalipto

El eucalipto globulus es una especie maderera latifoliada o también conocida como “de frondosa”; de tronco cilíndrico recto y grueso que alcanza hasta los 2m de diámetro y entre 45 – 55m de altura, su copa es alargada e irregular, el grosor de su corteza es generalmente de 3 cm que se desprende al madurar dejando una segunda corteza lisa, las hojas son de color gris-azulado y su tamaño depende de la edad, las hojas juveniles miden entre 8 - 15 cm y las adultas miden entre 15 – 25 cm de largo, con un ancho característico que varía de 4 – 8 cm; las flores estas aisladas o en grupos de 2 o 3 y su diámetro es de 3 cm con numerosos estambres de color blanco. (Vinuesa Rojas, 2012).



Figura 1.1: Madera de eucalipto globulus.

La principal especie de eucalipto plantada, *E. globulus*, fue inicialmente introducida en 1865 y vastamente plantada sobre la meseta central entre las alturas de 1800 y 3300 msnm. El mejor crecimiento se presenta en localidades entre 2000 y 2900 msnm, donde la precipitación anual es de 1000 a 2000 mm. (FAO, 1981)

## **1.2 La madera**

### **1.2.1 Descripción**

La madera es el material constituyente de los troncos, ramas, y raíces de los árboles, está formada por un conjunto de células que constituyen un organismo vivo: el árbol. (Urbán Brotóns, 2013)

La madera se forma a partir de una capa generatriz llamada cámbium, comprendida desde la corteza hacia el interior del tronco, bajo ciertas condiciones favorables esta capa produce la madera hacia el interior y corteza hacia el exterior. Este proceso se repite cada período vegetativo, que generalmente coincide con las estaciones del año.

En la sección de un tronco este proceso es apreciable a simple vista, los anillos claros y anchos corresponden a la madera de primavera o de crecimiento; mientras que los anillos delgados y oscuros corresponden a la madera de invierno o letargo. Al corresponderse cada anillo con un ciclo vegetativo (1 año), nos basta con contarlos para saber la edad del árbol. (Urbán Brotóns, 2013)

El tronco de un árbol cuenta con dos zonas perfectamente apreciables. La zona exterior o albura y la zona interior o duramen.

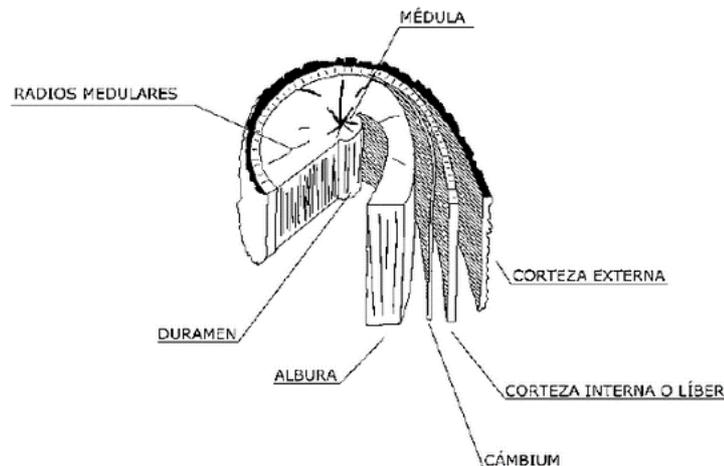


Figura 1.2: Partes del tronco

Fuente: (Urbán Brotóns, 2013)

Químicamente la madera está constituida por dos sustancias: la celulosa y la lignina. Ambas suponen el 97% del porcentaje de la madera. Los componentes de la madera, lignina y celulosa actúan de una manera similar a la de los componentes del hormigón armado. La lignina, con su gran resistencia a compresión, equivale al hormigón, mientras que la celulosa, por su buen comportamiento a los esfuerzos de tracción, es equivalente a las armaduras de acero. (Urbán Brotóns, 2013)

## 1.2.2 Propiedades físicas de la madera

### 1.2.2.1 Contenido de humedad

Es la cantidad de agua que posee la madera, expresada en porcentaje de su peso en estado anhidro. Este valor aumenta dependiendo de la humedad relativa de una determinada zona y disminuye con la temperatura. La madera contiene agua bajo tres formas: agua libre, agua higroscópica y agua de constitución.

- Agua libre es la contenida en las cavidades celulares.
- Agua higroscópica se halla en las paredes celulares.
- Agua de constitución forma parte de la estructura molecular.

La madera puede encontrarse en tres estados: madera verde, cuando ha perdido parte del agua libre y su contenido de humedad es mayor al 30%; madera seca al aire, cuando ha perdido toda el agua libre y parte del agua higroscópica; y madera anhidra, cuando

ha perdido toda el agua libre y toda el agua higroscópica. (Junta del acuerdo de Cartegena, 1984).

La humedad máxima alcanzada cuando la madera ha perdido toda el agua libre se conoce como punto de saturación de las fibras. Esta pérdida de agua no produce cambios volumétricos en la madera.

### 1.2.2.2 Anisotropía

La madera, por su composición, tubos capilares dispuestos longitudinalmente en el árbol, tiene diferentes comportamientos en las direcciones paralelas y perpendiculares a las paredes de esos tubos. Por lo tanto se estudia la madera en las tres direcciones: la longitudinal o axial, en dirección a las fibras o paralela al eje de crecimiento vertical del tronco; la radial, perpendicular a la anterior y la tangencial normal a las dos primeras. (Sánchez Rodríguez & Ramírez Ibargollín, 2005)

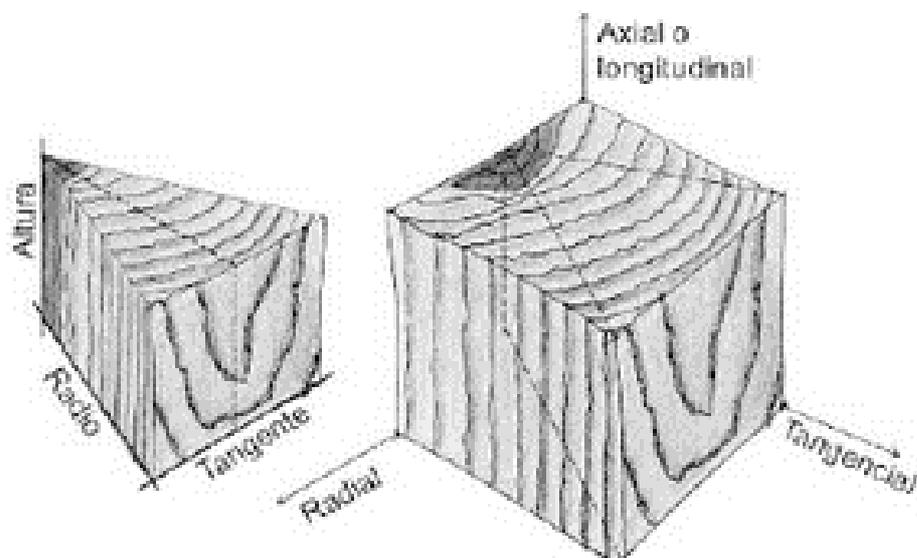


Figura 1.3: Direcciones respecto a la fibra

Fuente: (Sánchez Rodríguez & Ramírez Ibargollín, 2005)

### **1.2.2.3 Densidad**

Densidad es la relación entre masa y el volumen de un cuerpo. En la madera podemos distinguir entre densidad absoluta y densidad aparente. La densidad absoluta de las maderas es prácticamente constante para todas las especies y se le atribuye un valor de  $1,56 \text{ g/cm}^3$  esto partiendo de una madera extensa de poros, como si fuera totalmente maciza. La densidad aparente de la madera anhidra depende del volumen de poros, por lo tanto, es variable y se establece en función del contenido de agua. (García Garrido & Huertas Terrejón, 2003)

### **1.2.2.4 Hinchazón o merma**

La higroscopicidad, capacidad que posee la madera para absorber o perder agua, y la estructura tubular de la madera explican que, frente a aumentos o pérdidas de contenido de agua, la madera responde con hinchamientos o con mermas en su volumen.

La anisotropía de la madera hace que los hinchamientos y las mermas no sean constantes, sino que varíen con las direcciones longitudinal, transversal y radial. La mayor afectación en las dimensiones ocurre tangencialmente, seguido de la radial y prácticamente insignificante en la dirección longitudinal. Los valores aproximados oscilan entre 8 y 12 % en el primer caso, entre 5 y 7 % en el segundo y entre 0,3 y 0,5 % en el lado axial. (Sánchez Rodríguez & Ramírez Ibargollín, 2005)

## **1.2.3 Propiedades mecánicas de la madera**

### **1.2.3.1 Resistencia a la compresión**

Resistencia a la compresión es aquella con la que se opone la madera a todas las acciones externas que tratan de aplastarla, disminuyendo su longitud y ampliando su sección transversal. La resistencia a compresión puede ser analizada en las tres direcciones de la madera, siendo estas: paralelo a las fibras y perpendiculares a las fibras en dirección radial y tangencial.

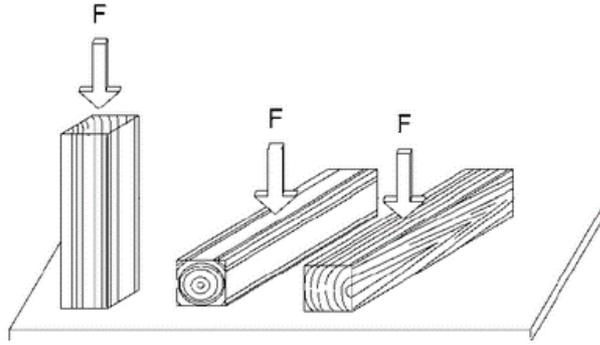


Figura 1.4: Resistencia a la compresión según la dirección de las fibras

Fuente: (Urbán Brotóns, 2013)

### 1.2.3.2 Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción es la provocada por la acción de una fuerza que tiende a romper la pieza de madera, alargando su longitud y reduciendo su sección transversal. Es más alta que la resistencia a la compresión cuando los esfuerzos se ejercen en la dirección paralela a las fibras o al eje del tronco. (Urbán Brotóns, 2013)

Según el Manual de diseño para maderas del Grupo Andino (1984) la resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela.

### 1.2.3.3 Resistencia a la flexión

Se denomina resistencia a la flexión al esfuerzo que impide que la pieza de madera sea deformada ante cargas que actúen sobre ella. Las fibras de la parte superior del eje neutro de la sección son las que sufren el mayor esfuerzo de compresión, mientras que las fibras por debajo del eje neutro sufren el mayor esfuerzo de tracción.

### 1.2.3.4 Resistencia a los esfuerzos cortantes

Los esfuerzos de corte o cizalle son los producidos por la acción de dos fuerzas iguales, paralelas y en sentido contrario, actuando sobre dos planos muy próximos entre sí, y provocando el deslizamiento relativo de secciones consecutivas en sentidos opuestos. (Zanni, 2008)

Por la acción de estos esfuerzos las piezas tienden a deslizarse entre ellas, pero esta tensión es contrarrestada por las secciones transversales de dichas piezas. La resistencia a los esfuerzos de corte en la línea de cola es similar a los expuestos anteriormente para madera maciza, pero en este caso la tensión que se opone al deslizamiento de las piezas es provocada por el adhesivo que une a las dos piezas.

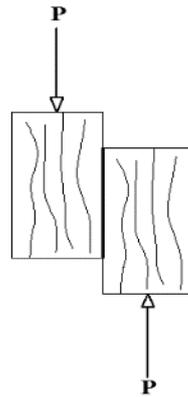


Figura 1.5: Acción del esfuerzo de corte

#### 1.2.3.5 Módulo de elasticidad (MOE)

Es la resistencia a la aplicación de esfuerzos sin causar deformaciones. Caracteriza la proporción entre la carga y la deformación. A mayor MOE más rígida será una madera. (Puertas, Guevara, & Espinoza , 2013)

#### 1.2.3.6 Módulo de rotura (MOR)

Es el mayor esfuerzo aplicado a las fibras extremas de la madera cuando la probeta de ensayo se rompe bajo influencia de una carga. (Puertas, Guevara, & Espinoza , 2013)

### 1.3 Antecedentes generales de la madera laminada encolada

La industrialización tiene como objetivo principal disminuir el tiempo que toma cierto proceso para la fabricación de cualquier insumo. En este ámbito entra la madera laminada, pues para su puesta en obra no requiere de un mayor proceso en el transcurso de materia prima a producto final.

Hoy en día esta técnica ha revolucionado alrededor del mundo, es así que en países de América Latina como Chile se han desarrollado normas para su fabricación. Desde

grandes estructuras hasta viviendas de mediana altura, la madera laminada ha sido el principal material de construcción de varios países que apuestan por este noble recurso.

La técnica de superar las limitaciones dimensionales mediante vinculaciones mecánicas de tablas o tirantes (clavos, pernos, tarugos etc.) se conoce desde hace siglos. El reemplazo de esas pobres vinculaciones mecánicas por una ligazón química efectiva, como las actuales, se debe a Otto Hetzer, quien en 1905 hace conocer en Europa el sistema denominado “estructura Hetzer”, consistente de elementos rectos o curvos fabricados con tablas pegadas con adhesivo a base de caseína y cal pulverizada. (Demkoff, 2003)

### **1.3.1 Definición de madera laminada encolada (MLE)**

Madera laminada es la unión de tablas a través de sus cantos, caras y extremos, con su fibra en la misma dirección, conformando un elemento no limitado en escuadría ni en largo, y que funciona como una sola unidad estructural. (Pérez Galaz, 1992)

### **1.3.2 Proceso de fabricación**

Para la elaboración de elementos estructurales de madera laminada encolada existen ciertos pasos que se detallan a continuación.

#### **1.3.2.1 Preparación de la madera.**

- Cultivo o aserrado en campo
- Almacenamiento al aire libre.
- Secado. El proceso de secado puede ser natural o artificial.

Secado natural: consiste en apilar la madera a la intemperie para que sea secada libremente por el aire.

Secado artificial: consiste en hacer circular corrientes de aire calentado previamente por estufas, no seco, sino un tanto húmedo, ya que el aire seco resquebrajaría la madera; en unos compartimientos o salas. (Griñán, 1982)

### 1.3.2.2 Tratado de la madera

Este proceso consiste en preparar la madera, entregada por el proveedor al fabricante, para transformarla en láminas. Contiene los siguientes pasos:

- Canteado
- Cepillado
- Aserrado
- Fresado (Unión finger joint). La profundidad del diente debe ser mayor a 12mm para láminas de borde, exteriores o intermedias y para láminas internas la profundidad del diente debe ser mayor a 10.5mm.

Existen dos geometrías para las uniones dentadas: perfil horizontal y perfil vertical.

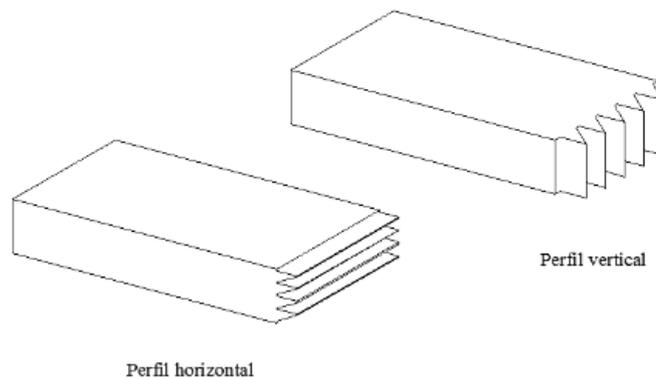


Figura 1.6: Perfil horizontal y vertical para finger joint

### 1.3.2.3 Encolado

Los adhesivos que servirán para la fabricación de madera laminada deben cumplir con las especificaciones necesarias para asegurar que el elemento de madera no fallará por la línea de cola. Este proceso debe realizarse en un tiempo no mayor a las 24 horas después del cepillado. Los adhesivos más usados para madera laminada encolada son la Resorcina Fenol Formol (RFF) y los de Melamina Urea-Formaldehído (MUF).

### 1.3.2.4 Ensamblado

La presión necesaria para la unión de láminas viene proporcionado por el proveedor del adhesivo. Este valor deberá garantizar que la piezas al unirse a través de sus testas y mediante la unión finger joint formen un elemento macizo.

### 1.3.2.5 Acabado final

Mediante el proceso de cepillado y aserrado se rectificará el elemento hasta conseguir las dimensiones requeridas.

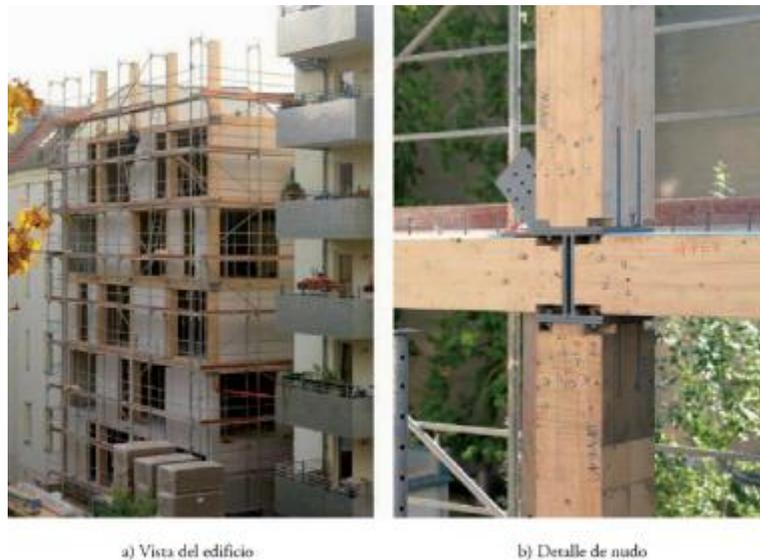


Figura 1.7: Edificio residencial E3 de 7 alturas de madera en la calle Esmarch, Berlín. Agosto 2007 - mayo 2008

Fuente: ( Argüelles Álvarez, 2009)

## 1.4 Parámetros del estudio.

Continuando con el estudio realizado en 2015 por estudiantes de la Universidad del Azuay, que ensaya el pino radiata para su uso en la elaboración de madera laminada; este proyecto plantea la comparación de los resultados obtenidos en dicho estudio con los datos a obtenerse en esta tesis, en la que se ensayará el eucalipto globulus con la misma finalidad.

De acuerdo con lo mencionado es preciso exponer ciertos parámetros que determinarán la validez de este estudio con la finalidad de llegar a una comparación confiable.

### 1.4.1 Bases de cálculo

La norma NCh 1198 (2006) “Madera – Construcciones de madera – Cálculo” servirá de guía en esta investigación para el diseño de los elementos estructurales, pues menciona que puede ser usada tanto para madera maciza como para madera laminada, con ciertas modificaciones que en caso de ser necesario deberán hacerse.

Para la clasificación de la madera de pino que es apta para laminar, el Instituto Nacional de Normalización de Chile plantea la siguiente norma NCh 2150 (1991) “Madera laminada encolada – Clasificación visual y mecánica de madera aserrada de pino radiata”, sin embargo no existe aún una norma que clasifique únicamente el eucalipto globulus contemplando a esta madera como apta para laminar. En este caso la norma NCh 1970 parte1 “Especies latifoliadas – Clasificación visual para uso estructural – Especificaciones de los grados de calidad” será la guía que sirva para determinar la madera de eucalipto que es apta para usar en este proyecto.

En Chile se ha desarrollado una guía de cálculo específicamente para madera laminada encolada en pino radiata, pero al igual que la anterior norma es de uso exclusivo para la madera de pino; entonces, el diseño de madera laminada de eucalipto estará basado en la norma NCh 1198, que en su capítulo 10 trata sobre este tema.

Para elaborar los ensayos requeridos de: flexión, flexión en láminas empalmadas y resistencia a esfuerzos de corte en la línea de cola, se usará la norma JAS for glued laminated timber (2003) “Japanese agricultural standard for glued laminated timber”. Para elaborar los ensayos de resistencia a la compresión se utilizará la norma ASTM D 143 – 94 (Reapproved 2000) “Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber”.

### 1.4.2 Tipo de laminación

Si las láminas son paralelas al plano neutro de flexión del elemento, se dice que la laminación es "horizontal" y, cuando éstas son normales al plano neutro de flexión, se dice que la laminación es "vertical". (Pérez Galaz, 1992).

Este estudio al igual que el de pino radiata tiene como parámetro la laminación horizontal para el diseño de los elementos de manera laminada.

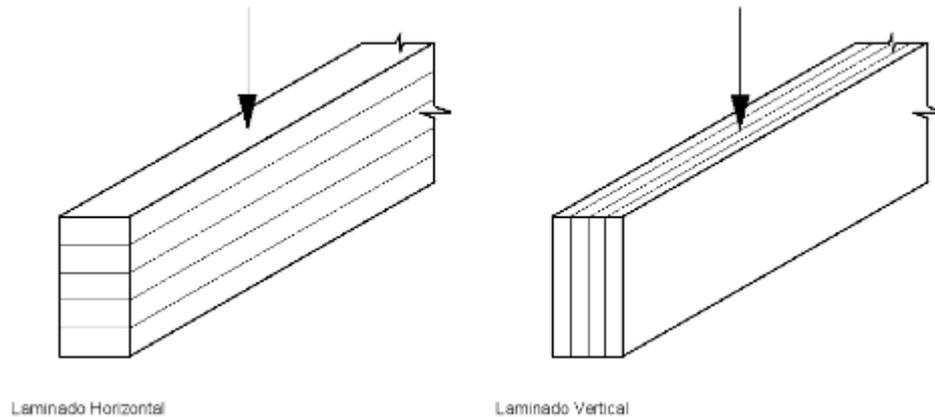


Figura 1.8: Laminación Horizontal - Laminación Vertical

### 1.4.3 Adhesivo

Para asegurar la calidad de un encolado se requiere una correcta elección del adhesivo, el conocimiento de la aptitud de la madera de las piezas que se van a unir y un adecuado desarrollo de la puesta en obra, respetando siempre las recomendaciones del fabricante del adhesivo. (Urbán Brotóns, 2013)

Demkoff (2003) informa que para elementos de madera laminada, los adhesivos que tienen un mejor comportamiento estructural son los de Melamina Urea Formol (MUF) y los de Resorcina Fenol Formol (RFF). Esto debido a su gran resistencia comparado con los adhesivos vinílicos, y su firmeza ante la humedad e intemperie.

Para la elaboración de probetas en el ensayo de cortante se utilizará el adhesivo MUF y se comparará con probetas elaboradas con el adhesivo RESINCOLA (adhesivo utilizado en el estudio con pino radiata).

El adhesivo RESINCOLA es un pegante Polivinílico que es multipropósito, puede ser usado tanto como para armar muebles como para pisos de madera. Presenta resistencia a la humedad, su tiempo de secado es moderado dependiendo del gramaje y su adhesión es firme y resistente. El sistema MUF 1242/2542 es una aplicación fabricada por AkzoNobel para vigas laminadas y finger joint de color claro en estructuras de madera portantes de carga. El adhesivo está compuesto por la resina UF 1242 y el

catalizador HARDENER 2542 que actúa como endurecedor. La tabla 1.1 contiene las características de este producto.

Tabla 1.1: Propiedades MUF

<b>Características</b>	<b>UF 1242</b>	<b>HARDENER 2542</b>
Contenido de sólidos	66 - 69 %	N/A
Densidad	Aprox 1250 kg/m <sup>3</sup>	Aprox 1340 kg/m <sup>3</sup>
Temperatura mínima en la línea de cola	No trabajar por debajo de los 20° C	
Tiempo de prensado	10 horas	

Fuente: (AkzoNobel , 2009)

## CAPÍTULO 2

### MARCO LEGAL

#### 2.1 Normativas

Para evaluar la madera de eucalipto es preciso detallar las normas que se utilizarán para este estudio, ya que de esto depende la confiabilidad de los datos obtenidos. El proyecto contempla el uso de una norma estadounidense, una norma japonesa y tres normas chilenas, detalladas a continuación. No se hará un análisis con normas ecuatorianas para poder comparar con el estudio realizado en pino radiata.

- NCh 176 “Madera – parte 1: Determinación de la humedad”.
- NCh 176 “Madera – parte 2: Determinación de la densidad”
- NCh 1198 “Madera – Construcciones de madera – Cálculo”
- NCh 1970 “Maderas – parte 1: Especies latifoliadas – Clasificación visual para uso estructural – Especificaciones de los grados de calidad”
- ASTM D 143 – 94 “Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber”.
- Japanese agricultural standard for glued laminated timber.

Las normas chilenas NCh 176, NCh 1198 y NCh 1970, aunque son generalmente usadas para madera maciza, no tienen ningún impedimento para usarse en ensayos con madera destinada a productos de MLE; sin embargo, la norma ASTM D 143 – 94, que a pesar de estar elaborada para madera maciza, puede usarse en este estudio, ya que solo se determinará la resistencia a la compresión.

Por su parte la norma japonesa, es una norma específicamente para madera que será empleada en elementos estructurales de MLE. Los ensayos expuestos por esta norma, se realizan a partir de láminas que deben tener las mismas características de la madera ya tratada con la que se confeccionará los elementos de madera laminada.

### 2.1.1 Resumen de normas utilizadas

Tabla 2.1: Resumen de Normas Utilizadas

NORMA UTILIZADA SEGÚN EL OBJETIVO REQUERIDO			
OBJETIVO	MEDIDA	ESPECIE FORESTAL	
		EUCALIPTO GLOBULUS	PINO RADIATA
Clasificación de la madera	Clasificación visual de la madera	NCh 1970	NCh 2150
Tensiones Admisibles	Tensiones admisibles según los grados estructurales asignados	NCh 1198 “Madera – Construcciones de madera – Cálculo”	NCh 2165 “Tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de pino radiata” - NCh 1198 “Madera – Construcciones de madera – Cálculo”
Propiedades Físicas	Contenido de humedad	NCh 176 – parte 1	NCh 176 – parte 1
	Densidad	NCh 176 – parte 2	NCh 176 – parte 2
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la compresión paralela a las fibras	ASTM D 143 – 94	ASTM D 143 – 94
	Módulo de elasticidad	Japanese agricultural standard for glued laminated timber	Japanese agricultural standard for glued laminated timber
	Módulo de rotura		
	Resistencia a los esfuerzos de corte en la línea de cola		

## 2.2 Clasificación visual del Eucalipto Globulus

La norma NCh 1970 es la que servirá para la clasificación de la madera de eucalipto de acuerdo con los parámetros que presenta a continuación. Esta norma es aplicable a todas las especies latifoliadas destinadas a estructuras, independientemente del contenido de humedad esta guía es aplicable, sin embargo se consigue un empleo más eficiente con un contenido de humedad equivalente a la humedad de equilibrio del lugar en que se utilice.

### 2.2.1 Clasificación

La madera de latifoliadas para uso estructural, aserrada cepillada se clasifica en cuatro grados:

- Grado Estructural N°1
- Grado Estructural N°2
- Grado Estructural N°3
- Grado Estructural N°4

## **2.2.2 Especificaciones generales de los grados estructurales**

### **2.2.2.1 Contenido de humedad**

Las especificaciones para el contenido de humedad de la madera deben regirse a lo señalado en la norma NCh 176 parte 1.

- El contenido de humedad de comercialización debe ser fijado entre el comprador y vendedor.
- El contenido de humedad de la madera debe ser determinado de acuerdo a lo expuesto en el literal 2.4.1.

### **2.2.2.2 Método de clasificación**

La norma NCh 1970 expresa las siguientes consideraciones en las que se basa el método de clasificación.

- De acuerdo a las especificaciones particulares descritas en la tabla 2.2, se asignará el grado estructural a una pieza según el defecto de mayor incidencia sobre su resistencia.
- El método desarrollado en esta norma consiste en la inspección visual de los defectos que las piezas presentan en sus caras, cantos y cabezas.
- Únicamente los defectos que tienen una repercusión significativa sobre la resistencia de la pieza serán considerados.
- Dos o más defectos actúan en combinación sí:  
Sus magnitudes son menores que las máximas admisibles en cada grado; y si, la distancia entre ellos, paralela a la arista, es menor que dos veces el ancho de la pieza.
- La distancia entre dos defectos de dimensión máxima admisible, medida en dirección de la arista, debe ser superior a tres veces el ancho de la pieza.
- Si la madera clasificada se somete a un reaserrado longitudinal, la clasificación original debe ser anulada.

### **2.2.2.3 Especificaciones particulares para los grados estructurales**

Las consideraciones para determinar el grado estructural de cada pieza de madera están definidas en las tablas presentadas a continuación.

Tabla 2.2: Clasificación visual de madera latifoliada destinada a uso estructural

Datos y especificaciones		Grado N°1	Grado N°2	Grado N°3	Grado N°4
<b>Generales</b>		Cada pieza debe estar correctamente aserrada de modo que superficies adyacentes sean ortogonales entre sí, cumplir con la tolerancias especificadas y tener los extremos despuntados con un corte normal al eje de la pieza			
<b>Perforación, Pudrición y Evidencia de madera de reacción</b>		No se aceptan	No se aceptan	No se aceptan	No se aceptan
<b>Corteza incluida</b>	Se aceptan trozos individuales solo en extremos de la pieza, siempre que su longitud $l$ cumpla con:	No se aceptan	$l \leq 75$ mm	$l \leq 150$ mm	$l \leq 200$ mm
	Se aceptan trozos individuales que no aparezcan en un extremo de la pieza y ubicados en una zona de 600 mm de largo medida desde dicho extremo, siempre que su longitud, $l$ , cumpla con:	No se aceptan	$l \leq 150$ mm	$l \leq 300$ mm	$l \leq 400$ mm
	Se aceptan trozos individuales que no aparezcan en un extremo de la pieza y ubicados en una zona de 600 mm de largo a contar de dicho extremo y que además estén en la mitad central del espesor con tal que sus largos, $l$ , cumplan con:	$l \leq 300$ mm separación > 300 mm	$l \leq 600$ mm separación > 300 mm	No se limitan en estos grados	
	Se aceptan trozos individuales que no aparezcan en un extremo de la pieza y ubicados en una zona de 600 mm de largo a contar de dicho extremo y que además estén en la mitad central del espesor con tal que sus largos, $l$ , cumplan con:	$l \leq 150$ mm separación > 300 mm	$l \leq 300$ mm separación > 300 mm	$l \leq 600$ mm separación > 300 mm	$l \leq 800$ mm separación > 300 mm
<b>Nudos</b>	Se aceptan nudos sanos - circulares - ovalados - y en la arista, con tal que su dimensión, $d$ , cumpla con:	$d \leq 1/7$ del ancho de la superficie donde él aparece	$d \leq 1/4$ del ancho de la superficie donde él aparece	$d \leq 1/3$ del ancho de la superficie donde él aparece	$d \leq 3/8$ del ancho de la superficie donde él aparece
<b>Desviación de la fibra</b>		Menor que 1 en 15	Menor que 1 en 10	Menor que 1 en 8	Menor que 1 en 6
<b>Bolsillos (de goma, resina y/o crecimientos anormales)</b>	Se aceptan en su longitud, $l$ , medida en la superficie de ancho $a$ , en la cual aparecen; cumple con:	$l \leq 3a$ y además $l \leq 300$ mm (tomar el menor de los dos valores)			
	Se aceptan solo si aparecen en una superficie de ancho $a$ y el ancho $S$ , del defecto cumple simultáneamente con:	$S \leq a/4$ y además $S \leq 12$ mm	$S \leq a/3$ y además $S \leq 20$ mm	$S \leq a/2$ y además $S \leq 25$ mm	$S \leq a/2$ y además $S \leq 30$ mm
	Se aceptan si aparecen en una superficie de ancho $a$ , se extienden a otra superficie y el ancho $S$ , del defecto cumple simultáneamente con:	$S \leq a/8$ y además $S \leq 6$ mm	$S \leq a/4$ y además $S \leq 12$ mm	$S \leq a/2$ y además $S \leq 20$ mm	$S \leq a/3$ y además $S \leq 25$ mm
<b>Arista faltante</b>	Se afecta si el área, $A$ , sola o acumulada, cumple con:	$A \leq e \times a/10$	$A \leq e^* a/5$	$A \leq e^* a/4$	$A \leq e^* a/4$
	Se acepta sí, además su dimensión, $d$ , en el canto cumple con:	$d \leq e/3$			
<b>Acebolladura</b>	Se aceptan si su ancho, $S$ , cumple con:	$S \leq 3$ mm			
	Se aceptan si, además, la longitud acumulada ( $\Sigma l$ ) cumple con:	$\Sigma l \leq L/10$	$\Sigma l \leq L/6$	$\Sigma l \leq L/4$	$\Sigma l \leq L/3$
	Se aceptan si, además, su extensión cumple con:	No abarcar más de una de las superficies de la pieza			

Continuación

<b>Grietas</b>	<b>Superficiales</b>	Se aceptan en superficies de hasta 75 mm de ancho siempre que el ancho S, del defecto cumpla con:	$S \leq 2$ mm	No se limitan, se aceptan de cualquier ancho		
		Se aceptan en superficies mayores de 75 mm de ancho siempre que el ancho S, del defecto cumpla con:	$S \leq 3$ mm	No se limitan, se aceptan de cualquier ancho		
	<b>Internas</b> (controladas en las cabezas de las piezas)	Se aceptan si la proyección S, del defecto sobre el canto de la pieza cumple con:	$S \leq e/4$	$S \leq e/3$	$S \leq e/2$	$S \leq 2 * e/3$
<b>Rajaduras en los extremos de la pieza</b>			No se aceptan	Se aceptan si $\Sigma l \leq a$ y además $\Sigma l \leq 100$ mm	Se aceptan si $\Sigma l \leq 1,5 a$ y además $\Sigma l \leq 150$ mm	
Acanaladuras			Se aceptan si su dimensión no excede de 1 mm por cada 50 mm de ancho de la pieza			
<b>Alabeos</b>	Arqueadura y Encorvadura		Ver tablas 1.4.2 y 1.4.3 para determinar el valor admisible			
	Torcedura		Ver tablas 1.4.4 y 1.4.35 para determinar el valor admisible			

Fuente: (NCh 1970 – 1988, Tabla 1)

Tabla 2.3: Arqueaduras y encorvaduras máximas admisibles para madera aserrada

Ancho (a) para la encorvadura, o espesor (e) para la arqueadura, en mm	Arqueadura y encorvadura máx. admisible, d, en mm							
	Para una longitud L, en m, igual a							
	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0
34	11	22	38	57	65	76	83	88
45	10	18	30	40	50	57	62	67
70	8	13	20	26	31	33	41	46
95	6	10	15	20	26	30	40	45
120	4	7	12	16	22	30	37	44
145	3	6	9	14	19	25	31	38
175	3	5	8	12	16	21	27	32
195	2	4	7	10	14	18	24	28
220	2	4	6	9	13	16	21	26
245	1	3	5	8	11	14	18	23
270	1	3	5	7	10	13	17	21
295	1	3	5	7	9	12	15	19

Fuente: (NCh 1970 – 1988, Tabla 2)

Tabla 2.4: Arqueaduras y encorvaduras máximas admisibles para madera aserrada

Ancho (a) para la encorvadura, o espesor (e) para la arqueadura, en mm	Arqueadura y encorvadura máx. admisible, d, en mm							
	Para una longitud L, en m, igual a							
	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0
38	10	20	35	50	60	70	75	80
50	9	16	27	36	45	50	55	60
75	7	12	19	25	29	31	40	45
100	5	9	14	19	25	30	40	45
125	4	7	11	15	21	29	36	43
150	3	6	9	13	18	24	30	37
175	3	5	8	11	16	20	26	32
200	2	4	7	10	14	18	23	28
225	2	4	6	9	12	16	20	25
250	1	3	5	8	11	14	18	22
275	1	3	5	7	10	13	16	21
300	1	3	5	7	9	12	15	19

Fuente: (NCh 1970 – 1988, Tabla 3)

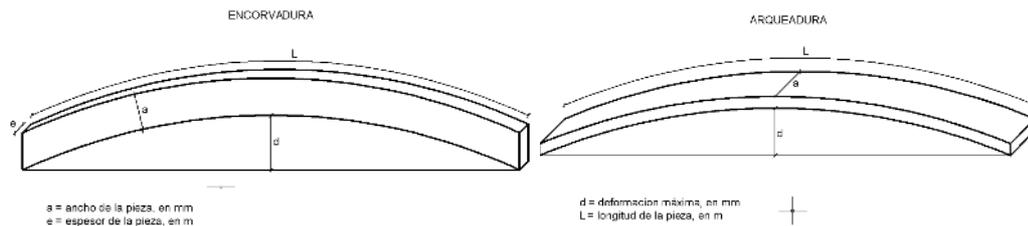


Figura 2.1: Arqueadura – Encorvadura

Tabla 2.5: Torcedura equivalente máxima admisible para madera aserrada

Espesor e, mm	Torcedura equivalente max. admisible, d, en mm por cada 10mm de ancho de la pieza							
	Para un longitud L, en metros, igual a							
	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0
38	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6	4,2	4,7	5,3
50	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0
75	0,8	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,4	2,7
100	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
125	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6
150	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3

Fuente: (NCh 1970 – 1988, Tabla 4)

Tabla 2.6: Torcedura equivalente máxima admisible para madera cepillada

Espesor e, mm	Torcedura equivalente max. admisible, d, en mm por cada 10mm de ancho de la pieza							
	Para un longitud L, en metros, igual a							
	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0
34	1,8	2,4	2,9	3,5	4,0	4,6	5,1	5,9
45	1,3	1,8	2,2	2,6	3,1	3,6	4,1	4,4
70	0,7	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9
95	0,6	0,8	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,1
120	0,5	0,6	0,7	1,0	1,2	1,3	1,4	1,7
145	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,2	1,3	1,4

Fuente: (NCh 1970 – 1988, Tabla 5)

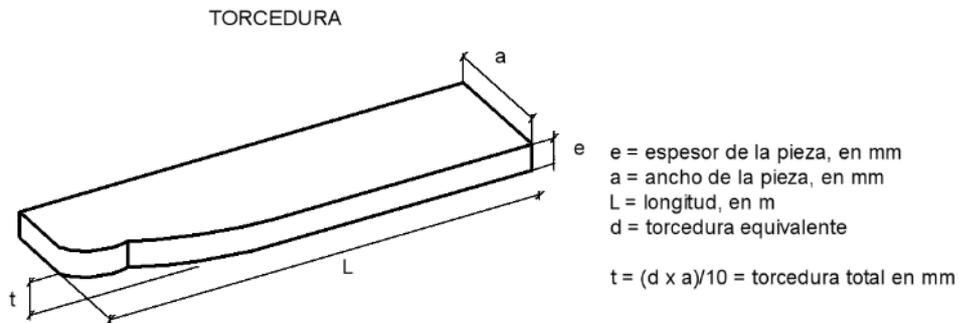


Figura 2.2: Torcedura

### 2.3 Tensiones admisibles para eucalipto

La norma NCh 1998 “Maderas - Agrupamiento de especies madereras según su resistencia – Procedimiento” agrupa las especies de madera según su resistencia, en los que se diferencia 7 grupos para madera seca ( $CH=12\%$ ) nombrada como ES, y 7 grupos para madera en estado verde ( $CH \geq 30\%$ ) nombrada como E. El eucalipto clasifica en ambos casos, para madera verde y seca en los grupos E 2 y ES 2 respectivamente.

La misma norma establece 12 clases estructurales, las cuales contienen valores para tensiones admisibles de flexión, compresión paralela a la fibra, tracción paralela a la fibra, cizalle y módulo de elasticidad en flexión. Estas tensiones admisibles son para todas las especies agrupadas excepto pino radiata, descritas a continuación en la tabla 2.7.

Tabla 2.7: Tensiones admisibles y módulo de elasticidad en flexión para madera aserrada, en MPa

Clase Estructural	Tensiones admisibles de				Módulo de elasticidad en flexión Ef
	Flexión Ff	Compresión paralela Fcp	Tracción paralela Ftp	Cizalle Fcz	
F34	34,5	26,0	20,7	2,5	18150
F27	27,5	20,5	16,5	2,1	15000
F22	22,0	16,5	13,2	1,7	12600
F17	17,0	13,0	10,2	1,5	10600
F14	14,0	10,5	8,4	1,3	9100
F11	11,0	8,3	6,6	1,1	7900
F8	8,6	6,6	5,2	0,9	6900
F7	6,9	5,2	4,1	0,7	6100
F5	5,5	4,1	3,3	0,6	5500
F4	4,3	3,3	2,6	0,5	5000
F3	3,4	2,6	2,0	0,4	4600
F2	2,8	2,1	1,7	0,4	4350

Fuente: (NCh 1198 – 2006, Tabla 4)

Para madera en estado verde, con un contenido de humedad mayor o igual al 20%, su asignación de clase estructural se realiza mediante la relación entre: el grado estructural y la agrupación de la madera para estado verde, de acuerdo con lo especificado en la tabla 2.8.

Tabla 2.8: Relación entre el agrupamiento de especie, la clase estructural y la clasificación visual de madera en estado verde

Clasificación Visual		Agrupamiento de Especies						
Identificación del Grado	Razón de Resistencia	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
		Clase estructural						
Grado Estructural N°1	0,75	F27	F22	F17	F14	F11	F8	F7
Grado Estructural N°2	0,60	F22	F17	F14	F11	F8	F7	F5
Grado Estructural N°3	0,48	F17	F14	F11	F8	F7	F5	F4
Grado Estructural N°4	0,38	F14	F11	F8	F7	F5	F4	F3

Fuente: (NCh 1198 – 2006, Tabla 6)

Para madera en estado seco, con un contenido de humedad igual al 12%, su asignación de clase estructural se realiza mediante la relación entre: el grado estructural y la agrupación de la madera para estado seco, de acuerdo con lo especificado en la tabla 2.9.

Tabla 2.9: Relación entre el agrupamiento de especie, la clase estructural y la clasificación visual de madera en estado seco

Clasificación Visual		Agrupamiento de Especies						
Identificación del grado	Razón de resistencia	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7
		Clase estructural						
Grado Estructural N°1	0,75	-	F34	F27	F22	F17	F14	F11
Grado Estructural N°2	0,60	F34	F27	F22	F17	F14	F11	F8
Grado Estructural N°3	0,48	F27	F22	F17	F14	F11	F8	F7
Grado Estructural N°4	0,38	F22	F17	F14	F11	F8	F7	F5

Fuente: (NCh 1198 – 2006, Tabla 7)

## 2.4 Consideraciones para obtener las propiedades físicas de la madera según norma NCh176

### 2.4.1 Determinación de humedad

De acuerdo con la norma NCh 176/1, existen tres métodos para determinar el contenido de humedad de la madera: método de secado en estufa, método de destilación y método del xilohigrómetro.

Para realizar este ensayo usaremos el método de secado en estufa, esto debido a que es aplicable a maderas con cualquier contenido de humedad. El principio de este método es determinar la pérdida de masa de la probeta cuando se seca hasta masa constante y el cálculo de la pérdida de masa en porcentaje de la masa de la probeta después del secado. Entonces el cálculo del contenido de humedad H, expresado en porcentaje, está dado por la siguiente fórmula:

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

Dónde:

$m_1$ = masa de la probeta antes del secado (g)

$m_2$ = masa de la probeta después del secado (g)

#### 2.4.2 Determinación de la densidad

De acuerdo a lo expuesto por la norma NCh 176/2, podemos obtener varios tipos de densidades: densidad de referencia, densidad anhidra, densidad normal, densidad básica y densidad nominal. En este ensayo determinaremos la densidad de referencia que es la obtenida cuando la madera tiene un contenido de humedad H, y la densidad anhidra que es posterior al secado de las probetas.

Las dimensiones de las probetas deben ser prismas rectos de sección cuadrada de 25 mm de lado y 100mm de longitud. La medición de las dimensiones de las probetas debe realizarse al menos tres veces para tener más precisión al obtener su volumen. Las probetas deben pesarse antes y después del secado para poder obtener las distintas densidades.

Densidad de referencia ( $\rho_H$ ), expresada en g/cm<sup>3</sup>, está dada por la fórmula:

$$\rho_H = \frac{m_H}{v_H}$$

Dónde:

$m_H$ = masa de la probeta al contenido de humedad H. (g)

$v_H$ = volumen de la probeta al contenido de humedad H. (cm<sup>3</sup>)

Densidad anhidra ( $\rho_o$ ), expresada en g/cm<sup>3</sup>, está dada por la fórmula:

$$\rho_o = \frac{m_o}{v_o}$$

Dónde:

$m_o$ = masa de la probeta en condición anhidra. (g)

$v_o$ = volumen de la probeta en condición anhidra. (cm<sup>3</sup>)

## 2.5 Consideraciones para obtener las propiedades mecánicas de la madera según las normas, JAS for glued laminated timber y ASTM D 143 – 94

### 2.5.1 Ensayo de flexión

De acuerdo con la norma japonesa para madera laminada encolada, las probetas seleccionadas deben pertenecer al lote de madera que será utilizado en la confección de los elementos de MLE. Las dimensiones de las probetas y la disposición de las cargas aplicadas para este ensayo se detallan en la imagen 2.3.

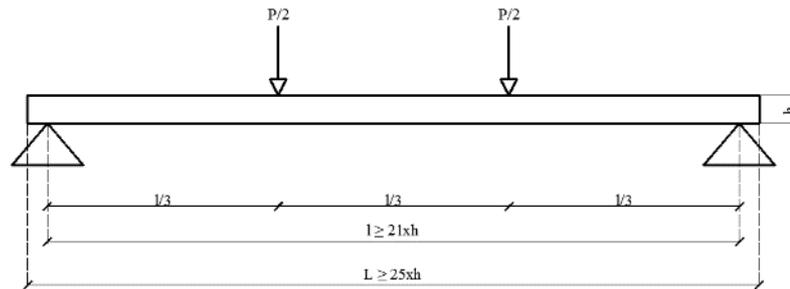


Figura 2.3: Esquema para ensayo a flexión

Fuente: (Japan. Nōrin Suisanshō & Japan Plywood Inspection Corporation, 2003)

A través de este ensayo podemos calcular el módulo de elasticidad y el módulo de rotura, estas propiedades son muy importantes ya que la ficha técnica del producto debe contener estos valores. El cálculo de los módulos de elasticidad (MOE) y de Ruptura (MOR) se realiza aplicando las siguientes expresiones:

$$MOE = \frac{\Delta P * l^3}{4 * b * h^3 * \Delta \delta} \qquad MOR = \frac{P_b * l}{b * h^2}$$

Dónde:

$\Delta P$ = Diferencia de las cargas superior e inferior dentro del rango elástico del diagrama carga – deformación. (Kg)

$\Delta \delta$ = Deformación correspondiente a  $\Delta P$ , medida en el centro de la luz. (cm)

$P_b$ = Carga máxima. (Kg)

$l$ = Luz, distancia entre los apoyos. (cm)

$b$ = Ancho de la probeta. (cm)

$h$ = Espesor de la probeta. (cm)

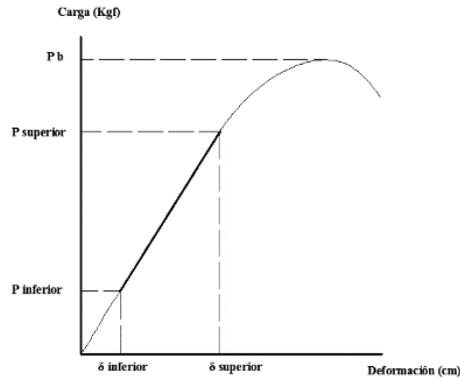


Figura 2.4: Diagrama Carga - Deformación

Fuente: (INFOR, 2000)

Para que el ensayo sea válido, la norma establece unos valores mínimos para el MOE y MOR, estos valores dependen de los grupos de especies forestales detallados en la tabla 2.10.

Tabla 2.10: MOE y MOR para ensayos preliminares

Grado Estructural Mecánico	Grupo de especies forestales						MOE		MOR	
							Promedio	5° Percentil	Promedio	5° Percentil
	A	B	C	D	E	F	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
L 200							200000	170000	810	610
L 180							180000	150000	720	540
L 160	GV1						160000	130000	630	475
L 140	GV2	GV1					140000	115000	540	405
L 125	GV3	GV2	G1				125000	105000	485	365
L 110		GV3	G2	G1			110000	95000	450	340
L 100			G3	G2	G1		100000	85000	420	315
L 90				G3	G2	G1	90000	75000	390	295
L 80					G3	G2	80000	65000	360	270
L 70						G3	70000	60000	330	250
L 60										
L 50										

Fuente: (INFOR, 2000)

### 2.5.2 Ensayo de flexión en láminas empalmadas

El proceso para realizar este ensayo, así como las dimensiones de las probetas y la disposición de las cargas, es igual al detallado anteriormente. Los valores para el MOE y MOR son los mismos del ensayo anterior. Por otra parte, para este ensayo las probetas están empalmadas en el centro de su luz, por medio de la unión dentada y el adhesivo utilizado. Esta unión debe garantizar la continuidad de la madera a lo largo de los elementos estructurales.

### 2.5.3 Ensayo de bloque de cizalle en MLE

La resistencia a cizalle que tiene la madera laminada encolada se analizará a lo largo de las fibras. Las probetas deben provenir del lote de madera lista para producir elementos de MLE.

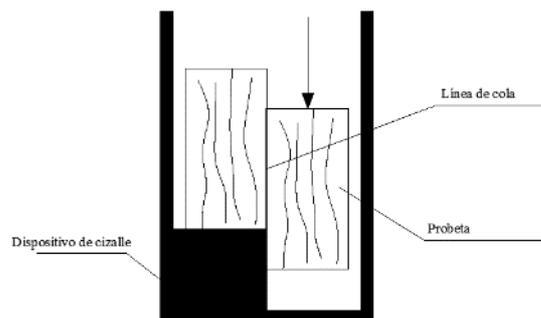


Figura 2.5: Esquema del dispositivo de cizalle

Fuente: (INFOR, 2000)

La resistencia al cizalle de la muestra se calcula a través de la expresión:

$$\text{Resistencia al cizalle} = \frac{\text{Carga de rotura de la probeta (kgf)}}{\text{Superficie de encolado (cm}^2\text{)}}$$

Al igual que en la flexión, el ensayo de cizalle, tiene también requisitos para que sus resultados sean válidos. Estos requisitos están en función de los grupos de especies forestales, también el valor de la resistencia al corte debe ser mayor o igual a los expuestos en la tabla 2.11.

Tabla 2.11: Requisitos para el ensayo de bloque de cizalle

Grupo de especie	Resistencia al cizalle (kg/cm <sup>2</sup> )	Falla de madera (%)
A	96	60
B	84	60
C	72	65
D	66	65
E	60	65
F	54	70

Fuente: (INFOR, 2000)

#### 2.5.4 Ensayo de compresión paralelo a las fibras

Para este ensayo la norma plantea dos tipos de probetas: la primera de 2\*2\*8 in y la segunda de 1\*1\*4 in. Se recomienda evitar piezas que posean desviación en las fibras de las superficies paralelas; además, el eje longitudinal debe formar un ángulo recto con estas superficies.

Para determinar la resistencia a la compresión se utilizará la probeta de 2\*2\*8 in o su similar de 5\*5\*20 cm. El contenido de humedad de las probetas debe ser aproximado al 12% debido a que esta propiedad varía considerablemente según el porcentaje de humedad.

#### 2.5.5 Ensayo de flexión en escala real de MLE rectas

Cuando las láminas que conforman un elemento de MLE sean homogéneas se necesita que la altura del elemento sea al menos 10cm y la luz debe ser al menos 18 veces la altura. La disposición de cargas, esquema del ensayo y dimensiones de la MLE se detallan a continuación.

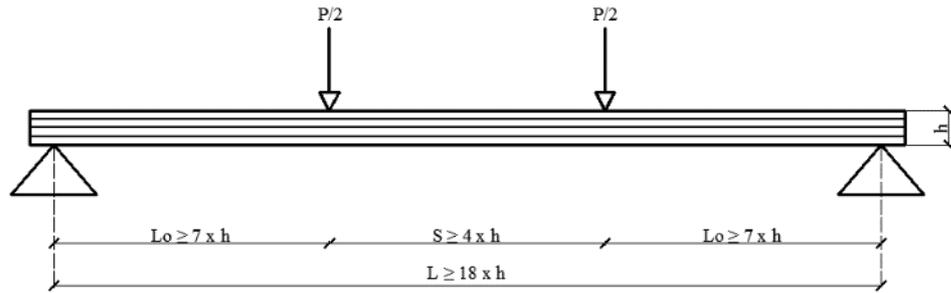


Figura 2.6: Esquema del ensayo a flexión en escala real de MLE

Fuente: (Japan. Nōrin Suisanshō & Japan Plywood Inspection Corporation, 2003)

Al igual que en el ensayo de flexión con probetas, el ensayo a escala real permite determinar el MOE y MOR, estas dos propiedades de la madera son las que determinarán la clase estructural del elemento estructural.

El cálculo de los módulos de elasticidad (MOE) y de ruptura (MOR) se realiza aplicando las siguientes expresiones:

$$MOE = \frac{\Delta P * (l - S) * (2 * l^2 + 2 * l * S - S^2)}{8 * \Delta \delta * b * h^3} \quad MOR = \frac{3 * P_b * (l - S)}{2 * b * h^2}$$

Dónde:

$\Delta P$ = Diferencia de la carga superior e inferior dentro del rango elástico del diagrama carga – deformación. (Kg)

$\Delta \delta$ = Deformación correspondiente a  $\Delta P$ , medida en el centro de la luz. (cm)

$P_b$ = Carga máxima. (Kg)

$l$ = Luz, distancia entre los apoyos. (cm)

$b$ = Ancho de la probeta. (cm)

$h$ = Espesor de la probeta. (cm)

$S$ = Distancia entre los puntos de aplicación de cargas (cm)

En el ensayo de flexión a escala real de MLE rectas, se establecen valores mínimos del MOE y MOR, estos valores coinciden con los de la tabla 2.10.

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA

En las provincias de Azuay y Cañar, zona en la que se desarrolla este proyecto, la madera de eucalipto es muy abundante, es así que en las zonas rurales de estas provincias existen grandes extensiones de esta madera. Los habitantes de lugares como: Mururco, Aguilán, Cojitambo, Taday, Zhoray, Sayausí, Tarqui, entre otros, se dedican a la comercialización de este recurso. Como antecedente se conoce que las dimensiones más comunes en las que se vende esta madera es (4.5x20x300) cm para tablones y (2.5x18x300) cm para tablas.

Los ensayos de probetas se realizarán en el laboratorio de ingeniería civil de la Universidad del Azuay y los ensayos en las vigas a escala real se realizarán en la fábrica Carrasco RFV Construcciones. Las probetas y las vigas a escala real serán elaboradas en la fábrica JOMASA, empresa dedicada a la industria de la madera, misma que se ubica en la ciudad de Azogues.

#### **3.1 Obtención de datos experimentales.**

##### **3.1.1 Análisis de la madera previo a ser ensayada**

La madera utilizada para este proyecto son tablones de eucalipto provenientes de la comunidad de Aguilán, parroquia Guapán del cantón Azogues, provincia del Cañar. Sus dimensiones son (5x22x300) cm.



Figura 3.1: Estado de la madera antes de ser tratada

Al momento de la adquisición se determinó a través de un xilohigrómetro, que el contenido de humedad de la madera era aproximadamente del 42%. Para que los resultados sean confiables y las condiciones de los ensayos sean óptimas, las normas recomiendan que el contenido de humedad de la madera sea próximo al 12%, motivo por el cual es necesario secar la madera de manera artificial.

### 3.1.1.1 Secado artificial de la madera.

Para que el proceso de secado de la madera sea más rápido se realiza un curado previo al secado artificial. El curado por lavado consiste en sumergir la madera en agua corriente durante un mes aproximadamente. El agua entra en los poros y elimina la savia por lavado. Después la madera se seca al aire libre. (Dal Fabbro, 1981)



Figura 3.2: Curado de la madera

Las dimensiones de la madera antes de ingresar a la cámara de secado es también un factor importante, el tiempo de secado varía dependiendo del espesor, a mayor espesor mayor tiempo de secado; por lo tanto fue necesario variar las dimensiones de la madera adquirida.

El secado artificial de la madera se realizó en la empresa Parquet Los Pinos ubicada en la ciudad de Riobamba. Para obtener un contenido de humedad cercano al 12% la madera estuvo 5 días sumergida en agua, seguido de 45 días expuesta al aire libre y 5 días en la cámara de secado.



Figura 3.3: Secado artificial de la madera

### 3.1.2 Ensayos de las propiedades físicas de la madera

#### 3.1.2.1 Preparación de las probetas

- Se utilizará dos tipos de probetas, una para el ensayo de contenido de humedad y una para el ensayo de densidad.
- Para ambos ensayos las probetas pertenecen al lote inicial de madera (antes del secado artificial).
- Las probetas serán escogidas aleatoriamente del lote de madera.
- Sus dimensiones corresponden a las establecidas en la norma NCh 176 parte 1 y parte 2.
- Se elaborarán 12 probetas para cada ensayo.

#### 3.1.2.2 Equipos utilizados para la elaboración de ensayos

- Balanza electrónica, precisión  $\pm 0.1g$ .



Figura 3.4: Balanza electrónica

- Estufa eléctrica



Figura 3.5: Estufa eléctrica

- Calibrador, precisión  $\pm 0.1$  mm.



Figura 3.6: Calibrador

### 3.1.2.3 Determinación del contenido de humedad (CH)

#### Procedimiento:

- Pesar las probetas
- Secar las probetas durante 24 h hasta alcanzar masa constante a temperatura de  $103^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ .
- Retirar las probetas del horno y pesarlas rápidamente para evitar variaciones en el contenido de humedad.
- Determinar el contenido de humedad para cada probeta.
- El proceso se repite para las probetas de madera secadas artificialmente.

A continuación se muestra los valores obtenidos del contenido de humedad para la madera en estado natural y para la madera secada artificialmente. Las dimensiones de las probetas utilizadas para este ensayo son (5x5x5) cm.

Tabla 3.1: Contenido de humedad natural de la madera

Muestra	Masa Húmeda (m1)	Masa Seca (m2)	Contenido de humedad (%)
1	88.83	65.47	35.68
2	90.17	66.17	36.27
3	88.46	65.37	35.32
4	93.39	68.20	36.94
5	92.41	67.46	36.98
6	91.16	66.54	37.00
7	97.53	66.92	45.74
8	110.81	74.28	49.18
9	101.78	70.94	43.47
10	98.22	67.19	46.18
11	101.42	68.30	48.49
12	101.70	68.62	48.21
		<b>Promedio</b>	41.62

Tabla 3.2: Contenido de humedad posterior al secado artificial

Muestra	Masa Húmeda (m1)	Masa Seca (m2)	Contenido de humedad (%)
1	37.96	33.60	12.98
2	39.67	35.49	11.78
3	37.53	33.39	12.40
4	37.39	33.06	13.10
5	38.56	34.34	12.29
6	39.57	35.31	12.06
7	39.31	35.21	11.64
8	38.75	34.48	12.38
9	38.36	34.21	12.13
10	38.93	34.19	13.86
11	38.00	33.60	13.10
12	38.21	34.12	11.99
		<b>Promedio</b>	12.48

### 3.1.2.4 Determinación de la densidad

#### Procedimiento:

- Determinar la masa de las probetas al contenido de humedad H.
- Determinar el volumen de las probetas al contenido de humedad H. Para ello se mide la longitud l, el ancho a y el espesor e. Medir por lo menos tres veces para cada dirección.
- Secar las probetas durante 24 h o hasta masa constante a temperatura de  $103^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ .
- Determinar la masa y el volumen de las probetas en estado anhidro.

Las tablas 3.3 y 3.4 muestran los valores de la densidad de referencia y anhidra respectivamente para el eucalipto. Las dimensiones de las probetas utilizadas para este ensayo son (2.5x2.5x10) cm.

Tabla 3.3: Densidad de referencia

Determinación de la densidad de referencia $\rho_H$ . CH $\approx$ 34%						
Muestra	Largo l (cm)	Ancho a (cm)	Espesor e (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Masa (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
1	10.05	2.47	2.56	63.55	53.93	0.85
2	10.06	2.50	2.46	61.87	48.42	0.78
3	10.05	2.51	2.51	63.32	47.30	0.75
4	10.05	2.58	2.50	64.82	47.15	0.73
5	10.05	2.58	2.52	65.34	47.39	0.73
6	10.05	2.56	2.43	62.52	46.46	0.74
7	10.05	2.49	2.51	62.81	42.20	0.67
8	10.05	2.49	2.52	63.06	48.71	0.77
9	10.04	2.55	2.53	64.77	46.27	0.71
10	10.05	2.47	2.49	61.81	46.62	0.75
11	10.05	2.47	2.51	62.31	47.60	0.76
12	10.06	2.51	2.56	64.64	46.33	0.72
<b>Promedio</b>						0.75

Tabla 3.4: Densidad anhidra

<b>Determinación de la densidad anhidra <math>\rho_0</math></b>						
Muestra	Largo l (cm)	Ancho a (cm)	Espesor e (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Masa (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
1	10.20	2.45	2.31	57.73	38.63	0.67
2	10.20	2.34	2.34	55.85	34.39	0.62
3	10.30	2.37	2.35	57.37	34.88	0.61
4	10.30	2.46	2.39	60.56	36.43	0.60
5	10.40	2.40	2.44	60.90	36.98	0.61
6	10.30	2.46	2.30	58.28	35.90	0.62
7	10.20	2.30	2.37	55.60	32.64	0.59
8	10.10	2.31	2.38	55.53	34.94	0.63
9	10.10	2.37	2.45	58.65	35.47	0.60
10	10.20	2.32	2.35	55.61	33.56	0.60
11	10.30	2.38	2.30	56.38	34.56	0.61
12	10.40	2.39	2.46	61.15	36.39	0.60
<b>Promedio</b>						0.61

### 3.1.3 Ensayos de las propiedades mecánicas de la madera

#### 3.1.3.1 Preparación de las probetas

- Se utilizará tres tipos de probetas, uno para el ensayo de compresión, uno para el ensayo de flexión en láminas homogéneas y flexión en láminas empalmadas y uno para el ensayo de cizalle en la línea de cola.
- Para todos los ensayos las probetas pertenecen al lote de madera posterior al secado.
- Las probetas serán escogidas aleatoriamente del lote de madera.
- Las probetas serán clasificadas visualmente de acuerdo a las tablas 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6.
- El contenido de humedad de las probetas será aproximado al 12%.
- Las dimensiones de las probetas corresponden a las establecidas en la norma ASTM D 143 – 94 y JAS for glued laminated timber.
- Se elaborarán 30 probetas para el ensayo de flexión, 20 para el de flexión en láminas empalmadas, 30 para el ensayo de compresión y 15 para el ensayo de cizalle con cada adhesivo.

- Para el ensayo a cizalle se analizará las probetas con los adhesivos Resincola y MUF.

### 3.1.3.2 Equipos utilizados para la elaboración de ensayos

- Calibrador, precisión  $\pm 0.1$  mm.
- Prensa hidráulica Humboldt 250000 lb. (113398.2 kg)



Figura 3.7: Prensa hidráulica 250000 lb

- Prensa hidráulica Humboldt 100000 lb. (4536 kg)



Figura 3.8: Prensa hidráulica 10000 lb

- Deformímetro Humboldt, precisión 0.001 in (0.00254 cm).



Figura 3.9: Deformímetro 0.001 in de precisión

- Dispositivo de metal para aplicación de carga en ensayo a flexión.



Figura 3.10: Dispositivo para aplicación de cargas en ensayo a flexión

- Dispositivo de metal para el soporte de probetas en ensayo a cortante.



Figura 3.11: Dispositivo de soporte en ensayo a cizalle

### 3.1.3.3 Ensayo de compresión paralelo a las fibras.

#### Procedimiento:

- Determinar las medidas de la sección de la probeta.
- Aplicar carga hasta que el elemento falle.
- Anotar el valor máximo de carga soportado por la probeta.

Tabla 3.5: Resistencia a la compresión

Muestra	Espesor e (cm)	Base b (cm)	Área A (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm)	Esfuerzo (MPa)
1	4.89	4.86	23.77	10854.00	456.71	44.79
2	4.85	4.88	23.67	11745.00	496.24	48.66
3	4.81	4.85	23.33	12830.00	549.97	53.93
4	4.80	4.89	23.47	11810.00	503.15	49.34
5	4.89	4.85	23.72	13310.00	561.21	55.04
6	4.86	4.89	23.77	12870.00	541.54	53.11
7	4.88	4.87	23.77	10960.00	461.17	45.23
8	4.87	4.90	23.86	10850.00	454.68	44.59
9	4.88	4.86	23.72	12970.00	546.87	53.63
10	4.90	4.87	23.86	8680.00	363.74	35.67
11	4.89	4.89	23.91	10480.00	438.27	42.98
12	4.88	4.82	23.52	11690.00	496.99	48.74
13	4.90	4.81	23.57	12200.00	517.63	50.76
14	4.83	4.88	23.57	10090.00	428.08	41.98
15	4.90	4.92	24.11	12040.00	499.42	48.98
16	4.92	4.84	23.81	11720.00	492.17	48.27
17	4.85	4.92	23.86	12450.00	521.75	51.17
18	4.87	4.86	23.67	13670.00	577.57	56.64
19	4.82	4.89	23.57	11820.00	501.49	49.18
20	4.86	4.88	23.72	12500.00	527.05	51.69
21	4.91	4.92	24.16	10260.00	424.72	41.65
22	4.92	4.85	23.86	11220.00	470.20	46.11
23	4.82	4.91	23.67	12410.00	524.38	51.42
24	4.84	4.87	23.57	12530.00	531.59	52.13
25	4.88	4.81	23.47	9300.00	396.20	38.85
26	4.88	4.81	23.47	13250.00	564.48	55.36
27	4.85	4.87	23.62	11320.00	479.27	47.00
28	4.85	4.87	23.62	10820.00	458.10	44.92
29	4.89	4.84	23.67	10860.00	458.86	45.00
30	4.85	4.89	23.72	8640.00	364.30	35.73
					Promedio	47.75

Por las condiciones del equipo utilizado para realizar este ensayo, no se pudo determinar el módulo de elasticidad en compresión de la madera. Los resultados de la tabla 3.5 refleja únicamente la resistencia en compresión de cada probeta. Las probetas para el ensayo de compresión tienen las siguientes dimensiones: (5x5x20) cm.



Figura 3.12: Ensayo de compresión en eucalipto

#### 3.1.3.4 Ensayo de flexión en láminas homogéneas

##### Procedimiento:

- Medir las dimensiones de la probeta.
- Acomodar los apoyos, el deformímetro y el dispositivo de aplicación de carga según lo establecido por la norma japonesa.
- Colocar la probeta sobre los apoyos en el interior de la prensa hidráulica.
- Aplicar la carga con una tasa de crecimiento establecida por la norma japonesa.
- Tomar los valores de carga aplicada para cada 0.1 in de deformación.
- Anotar el valor máximo de carga en la que el elemento falla.
- Determinar los valores del MOE y MOR de cada probeta.
- Calcular el valor promedio y el valor de quinto percentil de los datos de MOE y MOR para comparar con los establecidos por la norma.

Las probetas para el ensayo a flexión tienen las siguientes medidas (1.8x8x46) cm. La disposición de apoyos y aplicación de carga se detallan a continuación.

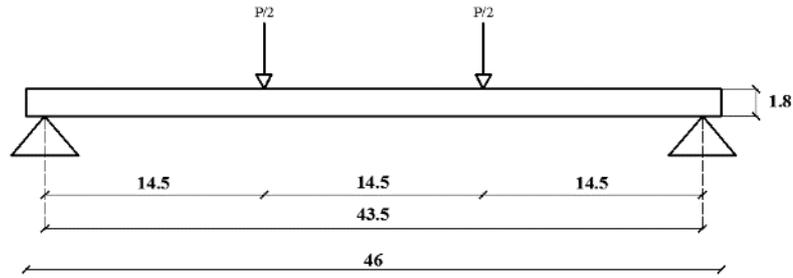


Figura 3.13: Disposición de cargas y apoyos para ensayo a flexión, (cm)

El ensayo de flexión en láminas homogéneas es también conocido como de cuatro puntos con el que se puede calcular el MOE Y MOR, para esto relaciona la diferencia de carga y deformación en la región lineal elástica con la geometría de la probeta. Ver figura 2.4. Las probetas para este ensayo fueron obtenidas del grupo de láminas que son destinadas a la elaboración de las vigas a escala real, de esta manera tendremos un resultado más confiable.

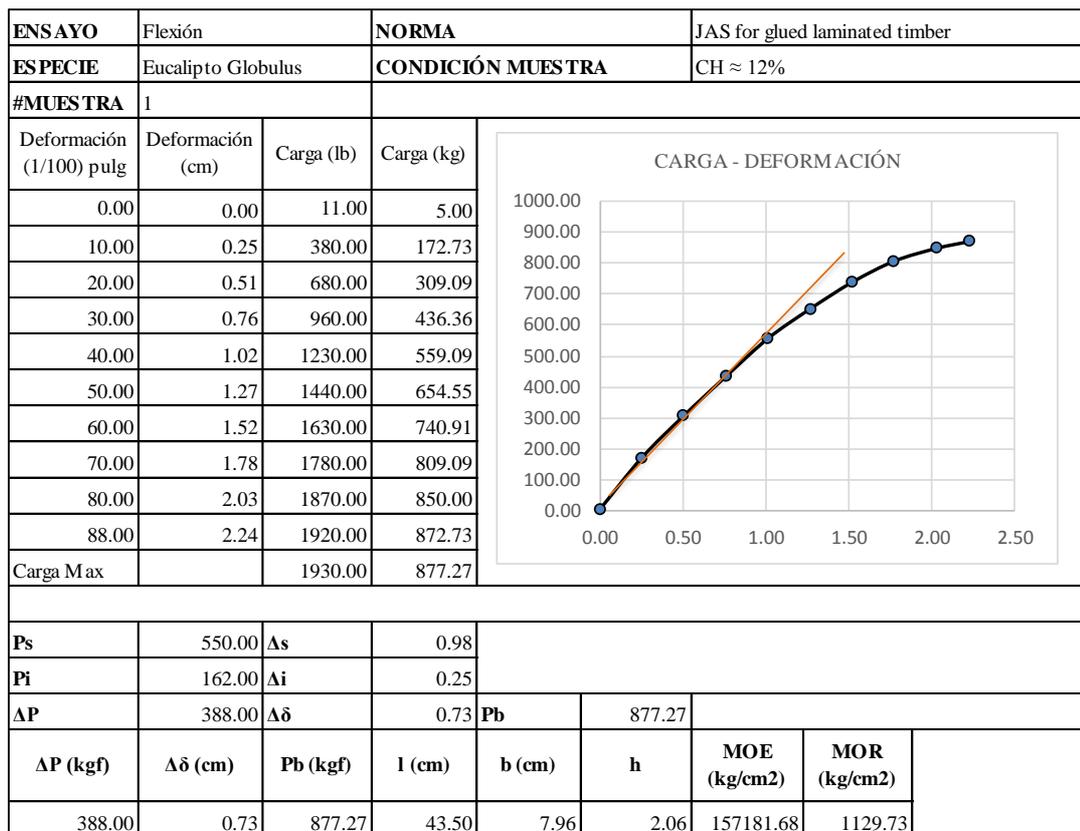


Figura 3.14: Cálculo típico del MOE y MOR en flexión



Figura 3.15: Ensayo a flexión en eucalipto

**ANEXO 1:** Cálculo del MOE y MOR para láminas empalmadas.

Tabla 3.6: Valores del MOE y MOR para láminas homogéneas

Probeta	$\Delta P$ (kgf)	$\Delta \delta$ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )
1	388.00	0.73	877.27	43.50	7.96	2.06	157181.68	1129.73
2	388.00	0.55	931.82	43.50	8.11	2.06	174428.87	1177.78
3	400.00	0.70	931.82	43.50	8.06	2.04	171847.88	1208.44
4	360.00	0.72	809.09	43.50	8.07	2.02	154685.69	1068.83
5	380.00	0.77	831.82	43.50	8.07	2.07	141878.33	1046.41
6	270.00	0.73	595.45	43.50	8.02	1.96	126039.33	840.72
7	410.00	0.75	918.18	43.50	8.04	2.05	162409.99	1182.10
8	430.00	0.80	877.27	43.50	8.04	2.05	159686.65	1129.43
9	480.00	0.87	818.18	43.50	8.06	2.04	165922.09	1061.07
10	340.00	0.70	804.55	43.50	8.07	2.04	145889.70	1042.09
11	390.00	0.90	890.91	43.50	7.96	2.05	130033.49	1158.52
12	430.00	0.84	895.45	43.50	8.06	2.04	153947.06	1161.28
13	350.00	0.92	731.82	43.50	7.91	2.03	118156.41	976.62
14	405.00	0.87	813.64	43.50	8.06	2.05	137958.01	1044.91
15	330.00	0.78	636.36	43.50	8.05	2.05	125536.40	818.26
16	410.00	0.83	809.09	43.50	8.07	2.04	148371.17	1047.98
17	238.00	0.58	618.18	43.50	8.04	2.03	125548.80	811.63
18	350.00	0.80	813.64	43.50	8.08	2.05	129334.05	1042.32
19	270.00	0.60	727.27	43.50	8.06	2.04	135330.21	943.17
20	420.00	0.75	822.73	43.50	8.08	2.06	163148.39	1043.76

Continuación

21	550.00	1.00	963.64	43.50	8.04	2.02	170789.16	1277.74
22	430.00	0.92	886.36	43.50	8.07	2.04	140386.18	1148.07
23	270.00	0.67	722.73	43.50	8.03	2.05	119872.51	931.62
24	310.00	0.75	700.00	43.50	8.06	2.04	124303.30	907.80
25	260.00	0.65	690.91	43.50	8.08	2.05	118248.28	885.10
26	350.00	0.71	854.55	43.50	7.98	2.06	145416.24	1097.71
27	380.00	0.70	827.27	43.50	8.04	2.05	161278.21	1065.06
28	360.00	0.81	731.82	43.50	8.07	2.07	127773.47	920.62
<b>Promedio</b>							144121.49	1041.74
<b>5° Percentil</b>							118156.41	811.63

### 3.1.3.5 Ensayo de bloque de cizalle en la línea de cola para MLE

#### Procedimiento:

- Medir las dimensiones del área de encolado en la probeta.
- Colocar la probeta con el dispositivo de metal para soporte sobre la prensa hidráulica.
- Aplicar la carga con una tasa de crecimiento establecida por la norma japonesa.
- Anotar el valor máximo de carga en la que el elemento falla.
- Determinar los valores de resistencia al cortante para cada probeta.

Tabla 3.7: Resistencia a cizalle, adhesivo resincola

ENSAYO A CORTANTE EN LA LINEA DE COLA ADHESIVO RESINCOLA						
Muestra	a (cm)	b(cm)	t(cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Tensión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	4.46	5.00	2.0	22.30	64.55	2.89
2	4.47	5.04	2.0	22.53	77.27	3.43
3	4.50	5.05	2.0	22.73	109.09	4.80
4	4.48	5.02	2.0	22.49	102.73	4.57
5	4.46	5.07	2.0	22.61	117.27	5.19
6	4.48	5.08	2.0	22.76	75.45	3.32
7	4.62	5.11	2.0	23.61	76.82	3.25
8	4.50	5.07	2.0	22.82	77.72	3.41
9	4.43	5.11	2.0	22.64	116.82	5.16
10	4.46	5.10	2.0	22.75	102.27	4.50
11	4.57	5.03	2.0	22.99	58.18	2.53

Continuación

12	4.56	5.06	2.0	23.07	99.55	4.31
13	4.63	5.10	2.0	23.61	120.45	5.10
14	4.58	5.07	2.0	23.22	77.27	3.33
15	4.60	5.00	2.0	23.00	68.64	2.98
					Promedio	3.92

Tabla 3.8: Resistencia a cizalle, adhesivo MUF

ENSAYO A CORTANTE EN LA LINEA DE COLA MUF						
Muestra	a (cm)	b(cm)	t(cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Tensión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	4.45	5.02	2.0	22.34	1354.55	60.64
2	4.50	5.00	2.0	22.50	1677.27	74.55
3	4.47	5.00	2.0	22.35	727.27	32.54
4	4.50	5.00	2.0	22.50	1822.73	81.01
5	4.52	4.85	2.0	21.92	1840.91	83.98
6	4.48	4.83	2.0	21.64	913.64	42.22
7	4.46	5.00	2.0	22.30	2077.27	93.15
8	4.50	4.97	2.0	22.37	1772.73	79.26
9	4.50	4.98	2.0	22.41	2009.09	89.65
10	4.51	4.86	2.0	21.92	1954.55	89.17
11	4.48	4.97	2.0	22.27	1550.00	69.61
12	4.48	5.00	2.0	22.40	850.00	37.95
13	4.47	5.00	2.0	22.35	1154.55	51.66
14	4.47	4.96	2.0	22.17	1863.64	84.06
15	4.52	4.95	2.0	22.37	1286.36	57.49
					Promedio	68.46



Figura 3.16: Ensayo de cortante en la línea de cola en eucalipto.

### 3.1.3.6 Ensayo de flexión en láminas empalmadas

El ensayo de flexión en láminas empalmadas tiene el mismo procedimiento que el ensayo en láminas homogéneas, los criterios de aceptación del ensayo son los mismos así como el esquema de condición de cargas y apoyos.

Para la unión de las láminas se utilizó el adhesivo MUF ya que presenta mejor resistencia al cizalle. El empalme debe estar ubicado en el centro de la luz de la probeta, pues es ahí donde se concentra el mayor esfuerzo en flexión.

Con el objetivo de analizar el comportamiento de las uniones finger joint tanto vertical como horizontal se plantea, que de las 20 probetas a estudiar, 10 tengan la unión finger joint vertical y 10 tengan la unión de manera horizontal.



Figura 3.17: Probeta con unión finger joint vertical



Figura 3.18: Probeta con unión finger joint horizontal

Las tablas 3.9 y 3.10 presenta los valores del MOE y MOR para probetas con la unión finger joint vertical y horizontal respectivamente.

Tabla 3.9: Valores del MOE y MOR para láminas empalmadas, unión vertical

Probeta	$\Delta P$ (kgf)	$\Delta \delta$ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )
1	190.00	0.31	372.73	43.50	7.80	1.84	259568.28	613.97
2	165.00	0.25	354.55	43.50	7.83	1.86	229622.90	569.34
3	150.00	0.38	336.36	43.50	7.81	1.86	161631.34	541.53
4	195.00	0.40	331.82	43.50	7.82	1.85	202609.81	539.31
5	115.00	0.28	340.91	43.50	7.83	1.84	173273.58	559.41
6	160.00	0.32	327.27	43.50	7.83	1.84	210941.75	537.03
7	130.00	0.28	263.64	43.50	7.84	1.85	192469.47	427.40
8	140.00	0.32	331.82	43.50	7.86	1.84	183869.55	542.41
9	180.00	0.32	286.36	43.50	7.80	1.85	234379.98	466.63
10	135.00	0.24	359.09	43.50	7.85	1.86	229151.03	575.17
<b>Promedio</b>							207751.77	537.22
<b>5° Percentil</b>							161631.34	427.40

Tabla 3.10: Valores del MOE y MOR para láminas empalmadas, unión horizontal

Probeta	$\Delta P$ (kgf)	$\Delta \delta$ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )
11	120.00	0.21	363.64	43.50	7.83	1.86	233382.96	583.94
12	115.00	0.22	354.55	43.50	7.79	1.85	218087.26	578.47
13	180.00	0.32	336.36	43.50	7.81	1.86	230324.66	541.53
14	85.00	0.20	359.09	43.50	7.82	1.86	173800.54	577.38
15	150.00	0.28	327.27	43.50	7.78	1.86	220202.67	528.92
16	90.00	0.20	336.36	43.50	7.80	1.86	184495.96	542.22
17	165.00	0.27	354.55	43.50	7.80	1.86	250550.07	571.53
18	130.00	0.33	368.18	43.50	7.84	1.85	163307.43	596.89
19	160.00	0.32	300.00	43.50	7.81	1.81	222172.87	510.04
20	180.00	0.36	345.45	43.50	7.88	1.87	199676.40	545.34
<b>Promedio</b>							209600.08	557.63
<b>5° Percentil</b>							163307.43	510.04

**Anexo 2:** Cálculo del MOE y MOR de láminas empalmadas con finger joint vertical.

**Anexo 3:** Cálculo del MOE y MOR de láminas empalmadas con finger joint horizontal.

### 3.1.4 Ensayo de flexión en MLE a escala real

Debido a la complejidad para obtener el adhesivo MUF se plantea elaborar 3 de las cuatro vigas con el adhesivo PVA 3339 clase D3, este adhesivo al igual que MUF es elaborado por la empresa AkzoNobel y es resistente a la humedad y por períodos cortos de tiempo al agua. Con una densidad de 1090 kg/m<sup>3</sup>, el adhesivo PVA 3339 alcanza su mayor rendimiento al encolarse a 20°C y una presión de prensado igual a 1 MPa, el gramaje recomendado para maderas densas es de 200 g/m<sup>2</sup> aplicado en ambas superficies opuestas en contacto. Su tiempo de secado es relativamente corto, aumentado con la temperatura ambiente, motivo por el cual es necesario un especial cuidado al momento del encolado.

El adhesivo MUF al igual que el anterior requiere de un proceso de encolado y prensado controlado ya que su fraguado es muy rápido. Su mayor rendimiento se consigue a los 25°C y 10 MPa de presión al momento de prensar, la resistencia máxima del encolado se alcanza a los 5 días posterior a las de 10 horas de prensado. El gramaje recomendado es de 250 a 450 g/m<sup>2</sup> en una sola superficie opuesta en contacto.

Para el ensayo de vigas a escala real se plantea dos tipos de vigas una de 5.8x16.7x300 cm y otra de 7.7x24x450 cm. Del primer tipo se elaborará dos vigas, una de ellas estará elaborada con el adhesivo MUF 1242/2542 y la otra con el adhesivo PVA 3339, el objetivo de esta parte del ensayo es comparar el comportamiento de estos dos pegamentos bajos las mismas condiciones.

Del segundo tipo de vigas también se fabricará dos especímenes, las dos serán elaboradas con el adhesivo PVA 3339, pero para este caso una de las vigas se confeccionará con la unión finger joint y la otra será solo con uniones topadas (sin finger joint). El objetivo de esta parte del ensayo es analizar el comportamiento de las vigas bajo distintos tipos de uniones, esto debido a que en nuestra ciudad se elaboran vigas de MLE sin este tipo de unión, además se analizará el proceso de fabricación de este tipo de vigas para determinar las ventajas o desventajas que supone hacer estos elementos estructurales sin dicha unión.

La madera utilizada para elaborar las vigas fue clasificada visualmente de acuerdo con lo establecido por la norma chilena, se asignó un grado estructural #2, esto debido a la dificultad de encontrar madera de eucalipto libre de defectos y de esta manera evitar un desperdicio significativo de la madera. El proceso que se siguió para la fabricación de estos elementos fue el descrito en el capítulo 1.

**Anexo 4:** Proceso de fabricación para vigas de MLE.



Figura 3.19: Vigas de madera laminada de eucalipto

Debido a que no se cuenta con una prensa hidráulica para este ensayo, la prueba se realizó con puntales y placas metálicas como apoyos y tanques unidos a través de cadenas que cuelgan de la viga, mismos que serán llenados con agua para aplicar las cargas al elemento. Este proceso nos permite controlar la carga que se aplica a los elementos teniendo en cuenta la tasa de aumento y de esta manera no esforzar demasiado a las vigas.

**Equipo utilizado:**

- Flexómetro
- Apoyos acoplados manualmente dentro de fábrica (puntales, placas metálicas)
- Cadenas
- Tanques de capacidad 1200 litros.

**Procedimiento:**

- Medir las dimensiones de las vigas.
- Pesar los tanques y las cadenas con los que las vigas inicialmente estarán cargadas.
- Acomodar los apoyos y el sistema de aplicación de carga según lo establecido por la norma japonesa.
- Aplicar la carga con una tasa de crecimiento establecida por la norma japonesa.
- Tomar los valores de deflexión generada cada cierta carga.
- Anotar el valor máximo de carga en la que el elemento falla.
- Determinar los valores del MOE y MOR de cada viga.



Figura 3.20: Ensayo de flexión en MLE a escala real

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Posterior a los ensayos realizados se pudo determinar las siguientes propiedades de la madera de Eucalipto. Todos los valores de las propiedades físicas y mecánicas, así como de las tensiones de diseño para la madera de Pino Radiata fueron obtenidos del estudio realizado por García Armijos & Muñoz Guevara (2015).

#### 4.1 Propiedades físicas del Eucalipto globulus

Tabla 4.1: Propiedades físicas del eucalipto

Propiedad	Contenido de humedad	Contenido de humedad	Densidad de referencia	Densidad anhidra
Especie	% natural	% madera seca	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
Eucalipto globulus	41.62	12.85	0.74	0.61

#### 4.2 Propiedades mecánicas del Eucalipto globulus

Tabla 4.2: Propiedades mecánicas del eucalipto

Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>	MOE en láminas homogéneas kg/cm <sup>2</sup>	MOR en láminas homogéneas kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia al cizalle (Resincola) kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia al cizalle (MUF) kg/cm <sup>2</sup>	MOE en láminas empalmadas kg/cm <sup>2</sup>	MOR en láminas empalmadas kg/cm <sup>2</sup>
487.05	144121.49	1041.74	3.92	68.46	208675.93	547.42

Para asignar un grado estructural a la madera de eucalipto, debemos comparar las propiedades mecánicas obtenidas en los ensayos con las propiedades que da la norma chilena. De acuerdo con el módulo de elasticidad en flexión obtenido en las láminas homogéneas, el eucalipto corresponde a la clase estructural F27 y grado estructural N°2 según la norma chilena NCh 1198; y de acuerdo con el MOE obtenido para

láminas empalmadas, el eucalipto corresponde a la clase estructural F34 y grado estructural N°1 según la norma chilena.

Por otra parte, si comparamos las propiedades mecánicas obtenidas con las expuestas por la norma japonesa, el eucalipto, tanto para láminas homogéneas como para láminas empalmadas, se encuentra en el grupo de especie forestal B y grado estructural GV1, compartiendo este puesto con maderas como el maple, la haya o el roble.

En el ensayo a cizalle se necesita al menos de 84 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia para que el eucalipto se asigne al grupo de especie forestal B, pero con el valor obtenido en este ensayo el eucalipto clasifica dentro de la especie forestal D; sin embargo, dentro de las tensiones admisibles contempladas por la norma chilena, con el valor obtenido en el ensayo a cortante, el eucalipto se mantiene en la clase estructural 34 y grado estructural N° 1.

### 4.3 Módulo de elasticidad y de rotura en vigas a escala real

Tabla 4.3: Valores de MOE y MOR de vigas a escala real

<b>Tipo de viga</b>	Luz= 3m Adhesivo:	Luz= 3m Adhesivo:	Luz= 4.5m Sin	Luz= 4.5m Con
<b>Propiedad</b>	MUF	PVA	finger joint	finger joint
<b>MOE kg/cm<sup>2</sup></b>	158713.87	83052.54	112470.16	73700.87
<b>MOR kg/cm<sup>2</sup></b>	383.64	409.68	...	...

La viga elaborada con el adhesivo MUF tiene un módulo de elasticidad más alto comparado con la viga de igual sección y luz elaborada con adhesivo PVA, esto debido al pegamento melamina urea-formaldehído es de tipo estructural y termo estable, es decir, una vez fraguado el adhesivo no recobra su plasticidad por acción del calor, mientras que el adhesivo PVA es un adhesivo estructural pero termo plástico, una vez fraguado recobra su plasticidad por acción del calor.

De acuerdo con la norma japonesa la viga elaborada con el pegante MUF se clasifica dentro de la clase estructural E135-F405, y la viga elaborada con el pegante PVA clasifica dentro de la clase estructural E85-F300, siendo la primera más resistente.

Las vigas de 4.5 metros de luz por su parte no pueden ser asignadas a una clase estructural debido a que no se conoce su MOR, también los valores del MOE se vieron afectados por un deficiente proceso de encolado y prensado.

**Anexo 5:** Cálculo del MOE y MOR para vigas a escala real.

#### 4.3.1 Hipótesis de falla

Las cargas aplicadas a cada una de las vigas fueron calculadas según el esfuerzo de flexión correspondiente a la clase y grado estructural del eucalipto, en el que fue asignado luego de los ensayos. Los cálculos respectivos están detallados en el anexo 6. De las 4 vigas ensayadas solo dos de ellas fallaron.

**Anexo 6:** Cálculo de cargas últimas para vigas a escala real ensayadas a flexión.

La viga de 3 metros de luz elaborada con el adhesivo PAV presentó el siguiente tipo de falla.

- Fallo de la madera a flexión.

La madera llega a su punto de rotura posterior a alcanzar la tensión máxima de tracción paralela a las fibras, esto provocado por el esfuerzo de flexión. El agrietamiento y el desprendimiento de las láminas es común en este tipo de fallo, esto provoca que el elemento no colapse bruscamente, pero quedara seriamente quebrado y con deformación residual.



Figura 4.1: Fallo por flexión en la madera laminada

La viga de tres metros de luz elaborada con adhesivo MUF presentó los siguientes tipos de falla.

- Fallo de la madera a flexión.

Se observó que la viga falló por tener varias uniones alineadas verticalmente en el centro de su luz. El colapso del elemento fue brusco, empezando con el desprendimiento de las láminas a lo largo del eje de la viga y desencadenado la rotura en la parte central inferior del elemento en donde los esfuerzos de tracción son máximos y por donde atraviesan las uniones.



Figura 4.2: Fallo de la madera laminada por flexión

- Fallo por desprendimiento de la línea de cola en las uniones dentadas.

Este tipo de falla ocurre cuando los dientes de la unión se desprenden sin haberse roto, esto provoca que la lámina superior o inferior a esta unión quede más esforzada y de esta manera desencadena el colapso.



Figura 4.3. Fallo por desprendimiento de cola en las uniones dentadas

El ensayo en las dos vigas de 3 metros de longitud proporcionó los resultados esperados, el elemento con el adhesivo MUF a pesar de tener un colapso brusco presentó un mejor comportamiento estructural comparado con la viga elaborada con el adhesivo PVA; sin embargo, en el caso de las vigas de 4.5 metros de longitud los resultados fueron distintos a los esperados, pues la viga con las uniones dentadas tuvo un comportamiento estructural inferior comparada con la viga que tenía uniones de tope.

Luego de analizar esta viga se pudo determinar que el encolado en las láminas fue deficiente, pues el tiempo entre el encolado y prensado fue superior al recomendado por el fabricante del adhesivo, por lo tanto el comportamiento estructural de las vigas de 4.5 m no estuvo ligado al tipo de unión utilizada sino al deficiente proceso de fabricación.

Ambas vigas de 4.5 metros de luz a pesar de no colapsar quedaron con gran deformación residual, por las condiciones de los equipos para este ensayo no se pudo llevar a los elementos a la rotura. La tabla 4.4 muestra los valores de carga última para los que estaban diseñadas las vigas y los valores de carga en el que fallaron.

Tabla 4.4: Carga última de diseño - Carga de falla

TIPO DE VIGA	Carga Última de diseño (Kg)	Carga de falla (Kg)
Viga MLE luz: 3m, adhesivo: MUF	1199.2	1768
Viga MLE luz: 3m, adhesivo: PVA	1199.2	1888
Viga MLE luz: 4.5m, adhesivo: PVA, sin finger joint	2234.8	....
Viga MLE luz: 4.5m, adhesivo: PVA, con finger joint	2234.8	....

Como se puede observar las vigas de menor longitud tuvieron un mejor comportamiento y resistieron mucho más de lo esperado. Los elementos de 4.5 metros

de luz no pudieron llegar a la rotura pero el valor máximo de carga resistido fue de 2288 kg, esto debido a que los equipos empleados no permitieron aplicar más carga.

#### 4.4 Valores de las propiedades físicas y mecánicas del eucalipto globulus y el pino radiata

Tabla 4.5: Propiedades físico - mecánicas del pino radiata y eucalipto globulus

Propiedad del material	Especie Forestal	
	Eucalipto Globulus	Pino Radiata
Densidad Anhidra (g/cm <sup>3</sup> )	0.61	0.57
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	487.05	302.25
MOE en láminas homogéneas kg/cm <sup>2</sup>	144121.49	118103.46
MOR en láminas homogéneas kg/cm <sup>2</sup>	1041.74	955.78
Resistencia al cizalle (Resincola) kg/cm <sup>2</sup>	3.92	13.00
Resistencia al cizalle (MUF) kg/cm <sup>2</sup>	68.46	-
MOE en láminas empalmadas kg/cm <sup>2</sup>	208675.93	-
MOR en láminas empalmadas kg/cm <sup>2</sup>	547.42	-

Dentro de las propiedades físicas de la madera de eucalipto se puede apreciar que su densidad es apenas un 6.6% mayor que la del pino. La resistencia a la compresión es un 60% mayor en el eucalipto, también el MOE y MOR es superior en el eucalipto, sin embargo, en la resistencia al cortante, con el adhesivo Resincola, el pino es superior al eucalipto en más del 300%, motivo por el que se decidió analizar otro pegamento que es destinado a la fabricación de este tipo de productos, el adhesivo MUF no puede ser comparado con el adhesivo Resincola por su amplia superioridad.

Analizando los valores del MOE y MOR para láminas empalmadas podemos determinar que la unión logra hacer que la pieza de madera sea resistente pero al mismo tiempo sea frágil, esto se evidenció en el ensayo a escala real.

#### 4.5 Valor de las tensiones de diseño calculadas para pórtico de MLE en pino y eucalipto

Tabla 4.6: Tensiones de diseño calculadas para pino y eucalipto

		h (cm)	b (cm)	L (cm)	Tensión de diseño (MPa)
<b>Eucalipto</b>	Viga MLE	18.5	9.2	450	22.92
<b>Pino</b>		18.5	9.2	450	7.734
<b>Eucalipto</b>	Columna MLE	9.3	11	210	8.41
<b>Pino</b>		9.3	11	210	5.08

Luego de analizar los valores de las tensiones de diseño en MLE de eucalipto para elementos a compresión y flexión, se evidenció amplia superioridad de la madera de eucalipto con respecto a la de pino. Siendo un 60% superior en elementos a compresión y hasta más de un 250 % en flexión.

Todos los cálculos y diseños de tensiones admisibles de compresión, flexión y cargas últimas para los ensayos, fueron determinados según la guía de cálculo descrita en la tesis “Diseño y evaluación de miembros estructurales en madera laminada encolada (M.L.E.) con uniones dentadas (finger joint), en Pino Radiata”, realizada por estudiantes de la Universidad del Azuay en 2015.

**Anexo 7:** Cálculo de tensiones de diseño para pórtico de MLE en eucalipto

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- El proceso de secado por curado seguido de un secado artificial en la madera permitió obtener láminas de buena calidad y en un menor tiempo comparado con el secado natural; específicamente láminas de grado estructural N° 2 de acuerdo con la norma chilena.
- Posterior a los ensayos realizados se determinó que el eucalipto tiene una densidad mayor en un 9% con respecto a la densidad del pino.
- Las propiedades mecánicas del eucalipto evidenciaron una resistencia superior con respecto al pino radiata. Las pruebas determinaron los siguientes resultados:
  - MOE = 14129.56 MPa, un 22% más que la madera de pino.
  - MOR= 102.13 MPa, un 9% mayor que el valor obtenido en pino.
  - Resistencia a la compresión= 47.75 MPa, un 61% superior al pino.
  - Resistencia al cortante en la línea de cola (adhesivo Resincola)= 0.38 MPa, en este caso el valor es hasta más de 3 veces menor que el valor obtenido con el pino.
- Al tener un valor muy bajo de resistencia al cortante en la línea de cola fue preciso realizar este ensayo con el adhesivo MUF fabricado por la empresa AkzoNobel, este pegamento permitió obtener un valor igual a 6.72 MPa, siendo hasta más de 5 veces superior a la resistencia obtenida con la madera de pino.
- De las 20 probetas para el ensayo en láminas empalmadas, 10 tuvieron la unión finger joint realizada de manera horizontal y 10 tuvieron la unión de manera vertical. Los resultados de este ensayo determinó lo siguiente:
  - MOE finger joint vertical= 20367.82 MPa
  - MOE finger joint horizontal= 20549.03 MPa
  - MOR finger joint vertical= 52.67 MPa

- MOR finger joint horizontal= 54.66 MPa

Como podemos observar el perfil horizontal tiene un mayor módulo de elasticidad pero que no es representativo, pues es apenas un 1% mayor que el perfil vertical, por lo tanto ambos perfiles se comportan de igual manera ante esfuerzos de flexión.

- La gran diferencia en los valores obtenidos en el ensayo a cortante en la línea de cola, entre el adhesivo MUF y Resincola, fue ocasionada porque el adhesivo polivinílico no es un pegante estructural sino su uso es únicamente para la elaboración de muebles y por el contrario el adhesivo MUF es un adhesivo de tipo estructural destinado propiamente para la fabricación de piezas de MLE.
- Con los valores del MOE y MOR obtenidos tanto en láminas homogéneas como en láminas empalmadas, el eucalipto globulus clasifica dentro de la norma japonesa en el grupo de especie forestal B y grado estructural GV, siendo esta clasificación de madera muy resistente. Por otra parte, de acuerdo con la norma chilena y con los valores obtenidos en los ensayos de flexión, el eucalipto clasifica dentro de la clase estructural F27 y grado estructural N°2. Esto permite que la norma chilena pueda ser utilizada para el diseño de elementos de MLE de eucalipto con total seguridad, además de contar con la seguridad de que el eucalipto cumple con lo exigido por la norma japonesa.
- En el ensayo a escala real para elementos de MLE con luz igual a 3 metros, se determinó un comportamiento superior al esperado según las tensiones de diseño y cargas últimas resistentes. Los valores son los siguientes:
  - Viga 3 metros de luz y sección de 5.8x16.7 cm, carga resistida P=1768 kg, es un 47% más del valor de carga ultima de diseño P=1199.2 kg.
- Para los elementos de MLE con luz igual a 4.5 metros, la carga resistida fue apenas un 2% superior a la carga de diseño, pero no se pudo determinar la carga de rotura por la condición de los equipos usados para el ensayo
  - Viga de 4.5 metros de luz sección de 7.7x24 cm, carga resistida P= 2288kg, carga de diseño P=2234kg.

- Se realizó la comparación de dos tipos de adhesivo en el ensayo de vigas a escala real, de los elementos de 3 metros de luz el uno fue elaborado con el adhesivo MUF 1242/2542 y uno con el adhesivo PVA 3339, siendo la primera viga la que posea un mejor comportamiento estructural, pues su módulo de elasticidad es un 90% más que la segunda.
  - MLE con adhesivo MUF MOE= 15560.18 MPa
  - MLE con adhesivo PVA MOE= 8142.41 MPa

Con estos valores la viga con la pega MUF clasifica dentro de la norma japonesa en la clase estructural E135-F405.
- El comportamiento estructural que tuvieron las vigas de 4.5 m le luz deja en evidencia la importancia del proceso de encolado y prensado dentro de la fabricación de elementos de MLE. Debido al deficiente control de calidad en estos procesos se obtuvieron datos alejados a la realidad que no permitieron llegar a una conclusión que determine la influencia de la unión finger joint en la elaboración de estos productos.
- El diseño de un pórtico comprendido por una viga de 4.5 metros de luz y sección igual a 9.2x18.5 cm, y por dos columna de 2.2 metros de longitud y sección igual a 9.3x11 cm. Este pórtico fue comparado con otro de igual geometría pero diseñado en madera de pino. Los diseños presentan los siguientes valores de tensiones.
  - Viga de MLE de eucalipto, tensión de diseño en flexión = 22.92MPa
  - Viga de MLE de pino, tensión de diseño flexión = 7.73MPa
  - Columna de MLE de eucalipto, tensión de diseño en compresión = 8.4 MPa
  - Columna de MLE de pino, tensión de diseño en compresión = 5.08MPa

El diseño realizado tiene como resultado que, en elementos a flexión la madera de eucalipto es hasta 2.5 veces más resistente que el pino y en elementos a compresión el eucalipto es hasta un 65% más resistente que el pino.

- Finalmente, apoyado en los valores obtenidos y analizados en este proyecto, es preciso mencionar que el eucalipto es una madera que se puede usar para estructuras de madera laminada encolada, que su desempeño y resistencia, hacen de esta madera un material indiscutible para la construcción, además posee una belleza natural que la hace incomparable con otros materiales como el acero o el hormigón. También es importante mencionar que es indispensable contar con un proceso industrializado para la fabricación de estos elementos, pues se debe tener un especial cuidado y un estricto control de calidad en el encolado y prensado, ya que de esto depende que las piezas de MLE se comporten eficientemente ante las solicitaciones de carga para las que son diseñadas.

**Recomendaciones:**

- Se recomienda realizar una evaluación de tipologías estructurales de eucalipto y pino para conocer como incide la densidad del eucalipto en las cargas propias dentro de los diseños.
- Es necesario seguir comparando las características físicas y mecánicas de las maderas presentes en nuestro país para tener criterios de selección dependiendo del uso que se requiera.
- Se recomienda que para la fabricación de elementos de MLE se controle los procesos de tratado de la madera, encolado y prensado, pues de esto depende la calidad del producto final.

## BIBLIOGRAFÍA

- Argüelles Álvarez, R. (2009). *Uniones: un reto para construir con madera*. Madrid: B - Real Academia de Ingeniería.
- AkzoNobel . (2009). *Información de producto, sistema MUF 1242/2542 para Vigas Laminadas*. Medellín .
- ASTM International. (2000). *ASTM D143-94, Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber* .
- Centro de Transferencia Tecnológica. (2004). *La Construcción de Viviendas en Madera*. Corporacion Chilena de la Madera.
- Dal Fabbro, M. (1981). *Cómo construir el mueble moderno*. Barcelona: Ediciones Ceac.
- Demkoff, M. (2003). *VIGAS LAMINADAS ESTRUCTURALES DE MADERA, SU FABRICACIÓN Y EMPLEO*. Concordia. Obtenido de <https://m1db.files.wordpress.com/2012/05/madera-laminada-demkoff.pdf>
- FAO. (1981). *El eucalipto en la repoblación forestal*. Roma, Italia.
- Fournier Zepeda, R. (2008). Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades. *Tecnología en Marcha* , 92-101.
- García Armijos, R., & Muñoz Guevara , B. (2015). *Diseño y evaluación de miembros estructurales en Madera Laminada Encolada (M.L.E.) con uniones dentadas (finger joint), en Pino Radiata*. Obtenido de Repositorio institucional Universidad del Azuay: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4880>
- García Garrido, J., & Huertas Terrejón, M. (2003). *La madera y materiales derivados en la fabricación de soportes artísticos: aportación estructural y estética*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Griñán, J. (1982). *Carpintería de taller y armar*. Barcelona: Ediciones Ceac.
- INFOR. (2000). *Manual de interpretación de la Norma Japonesa para la Fabricación de Productos de Madera Laminada Estructural*. Santiago: Universidad del Bío - Bío.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. (1988). *NCh 1970 - Maderas Parte 1: Especies latifoliadas - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad*. Santiago, Chile.

- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. (2006). *NCh 1198 Madera - Construcciones en madera - Cálculo*. Santiago .
- Japan. Nōrin Suisanshō & Japan Plywood Inspection Corporation. (2003). *Japanese agricultural standard for glued laminated timber*. Tokyo: JAPAN Plywood Inspection Corporation.
- Junta del acuerdo de Cartagena. (1984). *Manual de diseño para maderas del Grupo Andino*. Lima, Perú.
- Pérez Galaz, V. (1992). *Manual de madera laminada*. Santiago, Chile: INFOR.
- Puertas, S., Guevara, C., & Espinoza , M. (2013). *Manual de transformación de la madera* . Lima: Organización Internacional de las Maderas Tropicales-OIMT.
- Sánchez Rodríguez, F., & Ramírez Ibargollín, H. (2005). *Construcciones de madera*. La Habana: Editorial Félix Varela.
- Tellechea, J. (1999). La fabricación de la madera laminada encolada. *Revista de Edificación*, 57-61.
- Touza Vázquez, M., & González Prieto, O. (2007). *Eucalyptus. Aplicaciones de la madera*. Galicia, España.
- Urbán Brotóns, P. (2013). *Construcción de estructuras de madera*. Alicante: ECU.
- Vinueza Rojas, M. (2012). *Eucalyptus Globulus Labill*. Quito: COMAFORS.
- Zanni , E. (2008). *Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera*. Córdoba : Editorial Brujas.

## ANEXOS

## Anexo 1: Cálculo del MOE y MOR para láminas homogéneas

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber								
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH $\approx$ 12% ..... # 1								
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)	CARGA - DEFORMACIÓN									
0.00	0.00	11.00	5.00										
10.00	0.25	380.00	172.73										
20.00	0.51	680.00	309.09										
30.00	0.76	960.00	436.36										
40.00	1.02	1230.00	559.09										
50.00	1.27	1440.00	654.55										
60.00	1.52	1630.00	740.91										
70.00	1.78	1780.00	809.09										
80.00	2.03	1870.00	850.00										
88.00	2.24	1920.00	872.73										
0.00		1930.00	877.27										
<b>Ps</b>	550.00	<b>Δs</b>	0.98										
<b>Pi</b>	162.00	<b>Δi</b>	0.25										
<b>ΔP</b>	388.00	<b>Δδ</b>	0.73						<b>Pb</b>	877.27			
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>						<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
388.00	0.73	877.27	43.50	7.96	2.06	157181.68	1129.73						
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber								
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH $\approx$ 12% ..... # 2								
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)	CARGA - DEFORMACIÓN									
0.00	0.00	9.00	4.09										
10.00	0.25	410.00	186.36										
20.00	0.51	780.00	354.55										
30.00	0.76	1110.00	504.55										
40.00	1.02	1380.00	627.27										
50.00	1.27	1590.00	722.73										
60.00	1.52	1780.00	809.09										
70.00	1.78	1900.00	863.64										
80.00	2.03	1980.00	900.00										
90.00	2.29	2040.00	927.27										
96.00	2.44	2050.00	931.82										
<b>Ps</b>	550.00	<b>Δs</b>	0.75										
<b>Pi</b>	162.00	<b>Δi</b>	0.20										
<b>ΔP</b>	388.00	<b>Δδ</b>	0.55						<b>Pb</b>	931.82			
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>						<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
388.00	0.55	931.82	43.50	8.11	2.06	174428.87	1177.78						

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH $\approx$ 12% ..... # 3				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	10.00	4.55						
10.00	0.25	320.00	145.45						
20.00	0.51	660.00	300.00						
30.00	0.76	970.00	440.91						
40.00	1.02	1250.00	568.18						
50.00	1.27	1450.00	659.09						
60.00	1.52	1640.00	745.45						
70.00	1.78	1760.00	800.00						
80.00	2.03	1890.00	859.09						
90.00	2.29	1980.00	900.00						
100.00	2.54	2030.00	922.73						
CARGA MAX		2050.00	931.82						
P <sub>s</sub>	550.00	$\Delta$ s	0.95						
P <sub>i</sub>	150.00	$\Delta$ i	0.25						
$\Delta$ P	400.00	$\Delta\delta$	0.70	P <sub>b</sub>	931.82				
$\Delta$ P (kgf)	$\Delta\delta$ (cm)	P <sub>b</sub> (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )		
400.00	0.70	931.82	43.50	8.06	2.04	171847.88	1208.44		
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH $\approx$ 12% ..... # 4				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	12.00	5.45						
10.00	0.25	320.00	145.45						
20.00	0.51	610.00	277.27						
30.00	0.76	880.00	400.00						
40.00	1.02	1140.00	518.18						
50.00	1.27	1350.00	613.64						
60.00	1.52	1540.00	700.00						
70.00	1.78	1680.00	763.64						
80.00	2.03	1750.00	795.45						
90.00	2.29	1800.00	818.18						
100.00	2.54	0.00	0.00						
CARGA MAX		1780.00	809.09						
P <sub>i</sub>	490.00	$\Delta$ i	0.95						
P <sub>i</sub>	130.00	$\Delta$ i	0.23						
$\Delta$ P	360.00	$\Delta\delta$	0.72	P <sub>b</sub>	809.09				
$\Delta$ P (kgf)	$\Delta\delta$ (cm)	P <sub>b</sub> (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )		
360.00	0.72	809.09	43.50	8.07	2.02	154685.69	1068.83		

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 5				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	15.00	6.82						
10.00	0.25	370.00	168.18						
20.00	0.51	660.00	300.00						
30.00	0.76	940.00	427.27						
40.00	1.02	1200.00	545.45						
50.00	1.27	1400.00	636.36						
60.00	1.52	1590.00	722.73						
70.00	1.78	1740.00	790.91						
76.00	1.93	1830.00	831.82						
90.00	2.29	0.00	0.00						
100.00	2.54	0.00	0.00						
CARGA MAX		1830.00	831.82						
Ps	540.00	Δs	1.00						
Pi	160.00	Δi	0.23						
ΔP	380.00	Δδ	0.77	Pb	831.82				
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )		
380.00	0.77	831.82	43.50	8.07	2.07	141878.33	1046.41		
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 6				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	11.00	5.00						
10.00	0.25	260.00	118.18						
20.00	0.51	440.00	200.00						
30.00	0.76	670.00	304.55						
40.00	1.02	870.00	395.45						
50.00	1.27	1040.00	472.73						
60.00	1.52	1160.00	527.27						
70.00	1.78	1300.00	590.91						
73.00	1.85	1310.00	595.45						
90.00	2.29	0.00	0.00						
100.00	2.54	0.00	0.00						
CARGA MAX		1310.00	595.45						
Pi	390.00	Δi	0.98						
Pi	120.00	Δi	0.25						
ΔP	270.00	Δδ	0.73	Pb	595.45				
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )		
270.00	0.73	595.45	43.50	8.02	1.96	126039.33	840.72		

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 7			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	7.00	3.18					
10.00	0.25	290.00	131.82					
20.00	0.51	560.00	254.55					
30.00	0.76	880.00	400.00					
40.00	1.02	1190.00	540.91					
50.00	1.27	1430.00	650.00					
60.00	1.52	1640.00	745.45					
70.00	1.78	1800.00	818.18					
80.00	2.03	1930.00	877.27					
90.00	2.29	2000.00	909.09					
91.00	2.31	2020.00	918.18					
CARGA MAX		2020.00	918.18					
Ps	580.00	Δs	1.10					
Pi	170.00	Δi	0.35					
ΔP	410.00	Δδ	0.75	Pb	918.18			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
410.00	0.75	918.18	43.50	8.04	2.05	162409.99	1182.10	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 8			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
10.00	0.25	300.00	136.36					
20.00	0.51	600.00	272.73					
30.00	0.76	910.00	413.64					
40.00	1.02	1180.00	536.36					
50.00	1.27	1410.00	640.91					
60.00	1.52	1610.00	731.82					
70.00	1.78	1780.00	809.09					
80.00	2.03	1860.00	845.45					
90.00	2.29	1920.00	872.73					
94.00	2.39	1930.00	877.27					
CARGA MAX		1930.00	877.27					
Pi	490.00	Δi	0.92					
Pi	60.00	Δi	0.12					
ΔP	430.00	Δδ	0.80	Pb	877.27			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
430.00	0.80	877.27	43.50	8.04	2.05	159686.65	1129.43	

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 9			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	11.00	5.00					
10.00	0.25	270.00	122.73					
20.00	0.51	610.00	277.27					
30.00	0.76	930.00	422.73					
40.00	1.02	1220.00	554.55					
50.00	1.27	1460.00	663.64					
60.00	1.52	1570.00	713.64					
70.00	1.78	1650.00	750.00					
80.00	2.03	1780.00	809.09					
85.00	2.16	1800.00	818.18					
90.00	2.29	0.00	0.00					
CARGA MAX		1800.00	818.18					
Ps	600.00	Δs	1.12					
Pi	120.00	Δi	0.25					
ΔP	480.00	Δδ	0.87	Pb	818.18			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
480.00	0.87	818.18	43.50	8.06	2.04	165922.09	1061.07	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 10			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	12.00	5.45					
10.00	0.25	220.00	100.00					
20.00	0.51	500.00	227.27					
30.00	0.76	790.00	359.09					
40.00	1.02	990.00	450.00					
50.00	1.27	1130.00	513.64					
60.00	1.52	1320.00	600.00					
70.00	1.78	1460.00	663.64					
80.00	2.03	1570.00	713.64					
90.00	2.29	1670.00	759.09					
100.00	2.54	1700.00	772.73					
CARGA MAX		1770.00	804.55					
Pi	400.00	Δi	0.85					
Pi	60.00	Δi	0.15					
ΔP	340.00	Δδ	0.70	Pb	804.55			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
340.00	0.70	804.55	43.50	8.07	2.04	145889.70	1042.09	

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 11			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	6.00	2.73					
10.00	0.25	260.00	118.18					
20.00	0.51	460.00	209.09					
30.00	0.76	720.00	327.27					
40.00	1.02	980.00	445.45					
50.00	1.27	1210.00	550.00					
60.00	1.52	1390.00	631.82					
70.00	1.78	1460.00	663.64					
80.00	2.03	1630.00	740.91					
90.00	2.29	1750.00	795.45					
100.00	2.54	1880.00	854.55					
CARGA MAX		1960.00	890.91					
Ps	560.00	Δs	1.30					
Pi	170.00	Δi	0.40					
ΔP	390.00	Δδ	0.90	Pb	890.91			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
390.00	0.90	890.91	43.50	7.96	2.05	130033.49	1158.52	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 12			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
10.00	0.25	250.00	113.64					
20.00	0.51	540.00	245.45					
30.00	0.76	850.00	386.36					
40.00	1.02	1130.00	513.64					
50.00	1.27	1360.00	618.18					
60.00	1.52	1560.00	709.09					
70.00	1.78	1720.00	781.82					
80.00	2.03	1850.00	840.91					
90.00	2.29	1930.00	877.27					
100.00	2.54	1950.00	886.36					
CARGA MAX		1970.00	895.45					
Pi	510.00	Δi	1.02					
Pi	80.00	Δi	0.18					
ΔP	430.00	Δδ	0.84	Pb	895.45			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
430.00	0.84	895.45	43.50	8.06	2.04	153947.06	1161.28	

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 13			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)	CARGA - DEFORMACIÓN				
0.00	0.00	10.00	4.55					
10.00	0.25	180.00	81.82					
20.00	0.51	390.00	177.27					
30.00	0.76	610.00	277.27					
40.00	1.02	820.00	372.73					
50.00	1.27	1000.00	454.55					
60.00	1.52	1160.00	527.27					
70.00	1.78	1290.00	586.36					
80.00	2.03	1380.00	627.27					
90.00	2.29	1490.00	677.27					
100.00	2.54	1580.00	718.18					
CARGA MAX		1610.00	731.82					
Ps	410.00	Δs	1.12					
Pi	60.00	Δi	0.20					
ΔP	350.00	Δδ	0.92	Pb	731.82			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
350.00	0.92	731.82	43.50	7.91	2.03	118156.41	976.62	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 14			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)	CARGA - DEFORMACIÓN				
0.00	0.00	5.00	2.27					
10.00	0.25	230.00	104.55					
20.00	0.51	520.00	236.36					
30.00	0.76	790.00	359.09					
40.00	1.02	1070.00	486.36					
50.00	1.27	1280.00	581.82					
60.00	1.52	1460.00	663.64					
70.00	1.78	1610.00	731.82					
80.00	2.03	1740.00	790.91					
90.00	2.29	1770.00	804.55					
96.00	2.44	1790.00	813.64					
CARGA MAX		1790.00	813.64					
Pi	500.00	Δi	1.05					
Pi	95.00	Δi	0.18					
ΔP	405.00	Δδ	0.87	Pb	813.64			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
405.00	0.87	813.64	43.50	8.06	2.05	137958.01	1044.91	

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 15			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	2.00	0.91					
10.00	0.25	150.00	68.18					
20.00	0.51	360.00	163.64					
30.00	0.76	580.00	263.64					
40.00	1.02	790.00	359.09					
50.00	1.27	980.00	445.45					
60.00	1.52	1150.00	522.73					
70.00	1.78	1290.00	586.36					
80.00	2.03	1390.00	631.82					
85.00	2.16	1400.00	636.36					
90.00	2.29	0.00	0.00					
CARGA MAX		1400.00	636.36					
Ps	400.00	Δs	1.13					
Pi	70.00	Δi	0.35					
ΔP	330.00	Δδ	0.78	Pb	636.36			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
330.00	0.78	636.36	43.50	8.05	2.05	125536.40	818.26	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 16			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
10.00	0.25	200.00	90.91					
20.00	0.51	480.00	218.18					
30.00	0.76	780.00	354.55					
40.00	1.02	1050.00	477.27					
50.00	1.27	1270.00	577.27					
60.00	1.52	1440.00	654.55					
70.00	1.78	1590.00	722.73					
80.00	2.03	1700.00	772.73					
90.00	2.29	1760.00	800.00					
100.00	2.54	1780.00	809.09					
CARGA MAX		1780.00	809.09					
Pi	490.00	Δi	1.05					
Pi	80.00	Δi	0.22					
ΔP	410.00	Δδ	0.83	Pb	809.09			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
410.00	0.83	809.09	43.50	8.07	2.04	148371.17	1047.98	

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 17			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
10.00	0.25	220.00	100.00					
20.00	0.51	430.00	195.45					
30.00	0.76	670.00	304.55					
40.00	1.02	880.00	400.00					
50.00	1.27	1070.00	486.36					
60.00	1.52	1230.00	559.09					
70.00	1.78	1340.00	609.09					
76.00	1.93	1360.00	618.18					
80.00	2.03	0.00	0.00					
90.00	2.29	0.00	0.00					
CARGA MAX		1360.00	618.18					
Ps	390.00	Δs	0.98					
Pi	152.00	Δi	0.40					
ΔP	238.00	Δδ	0.58	Pb	618.18			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)	
238.00	0.58	618.18	43.50	8.04	2.03	125548.80	811.63	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 18			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	9.00	4.09					
10.00	0.25	210.00	95.45					
20.00	0.51	470.00	213.64					
30.00	0.76	740.00	336.36					
40.00	1.02	990.00	450.00					
50.00	1.27	1210.00	550.00					
60.00	1.52	1390.00	631.82					
70.00	1.78	1540.00	700.00					
80.00	2.03	1670.00	759.09					
89.50	2.27	1790.00	813.64					
90.00	2.29	0.00	0.00					
CARGA MAX		1790.00	813.64					
Pi	420.00	Δi	1.00					
Pi	70.00	Δi	0.20					
ΔP	350.00	Δδ	0.80	Pb	813.64			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)	
350.00	0.80	813.64	43.50	8.08	2.05	129334.05	1042.32	

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 19			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
10.00	0.25	240.00	109.09					
20.00	0.51	460.00	209.09					
30.00	0.76	730.00	331.82					
40.00	1.02	940.00	427.27					
50.00	1.27	1130.00	513.64					
60.00	1.52	1290.00	586.36					
70.00	1.78	1410.00	640.91					
80.00	2.03	1530.00	695.45					
90.00	2.29	1580.00	718.18					
94.50	2.40	1600.00	727.27					
CARGA MAX		1600.00	727.27					
Ps	410.00	Δs	0.95					
Pi	140.00	Δi	0.35					
ΔP	270.00	Δδ	0.60	Pb	727.27			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
270.00	0.60	727.27	43.50	8.06	2.04	135330.21	943.17	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 20			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	11.00	5.00					
10.00	0.25	220.00	100.00					
20.00	0.51	510.00	231.82					
30.00	0.76	830.00	377.27					
40.00	1.02	1140.00	518.18					
50.00	1.27	1390.00	631.82					
60.00	1.52	1600.00	727.27					
70.00	1.78	1740.00	790.91					
78.00	1.98	1810.00	822.73					
80.00	2.03	0.00	0.00					
90.00	2.29	0.00	0.00					
CARGA MAX		1810.00	822.73					
Pi	540.00	Δi	1.05					
Pi	120.00	Δi	0.30					
ΔP	420.00	Δδ	0.75	Pb	822.73			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
420.00	0.75	822.73	43.50	8.08	2.06	163148.39	1043.76	

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 21			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
10.00	0.25	290.00	131.82					
20.00	0.51	610.00	277.27					
30.00	0.76	930.00	422.73					
40.00	1.02	1240.00	563.64					
50.00	1.27	1510.00	686.36					
60.00	1.52	1740.00	790.91					
70.00	1.78	1900.00	863.64					
80.00	2.03	2040.00	927.27					
90.00	2.29	2100.00	954.55					
91.50	2.32	2120.00	963.64					
CARGA MAX		2120.00	963.64					
Ps	610.00	Δs	1.13					
Pi	60.00	Δi	0.13					
ΔP	550.00	Δδ	1.00	Pb	963.64			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
550.00	1.00	963.64	43.50	8.04	2.02	170789.16	1277.74	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 22			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
10.00	0.25	240.00	109.09					
20.00	0.51	500.00	227.27					
30.00	0.76	780.00	354.55					
40.00	1.02	1050.00	477.27					
50.00	1.27	1270.00	577.27					
60.00	1.52	1460.00	663.64					
70.00	1.78	1610.00	731.82					
80.00	2.03	1750.00	795.45					
90.00	2.29	1850.00	840.91					
100.00	2.54	1900.00	863.64					
CARGA MAX		1950.00	886.36					
Pi	510.00	Δi	1.10					
Pi	80.00	Δi	0.18					
ΔP	430.00	Δδ	0.92	Pb	886.36			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
430.00	0.92	886.36	43.50	8.07	2.04	140386.18	1148.07	

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 23			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	12.00	5.45					
10.00	0.25	210.00	95.45					
20.00	0.51	420.00	190.91					
30.00	0.76	670.00	304.55					
40.00	1.02	890.00	404.55					
50.00	1.27	1080.00	490.91					
60.00	1.52	1230.00	559.09					
70.00	1.78	1330.00	604.55					
80.00	2.03	1450.00	659.09					
90.00	2.29	1540.00	700.00					
91.50	2.32	1590.00	722.73					
CARGA MAX		1590.00	722.73					
Ps	410.00	Δs	1.05					
Pi	140.00	Δi	0.38					
ΔP	270.00	Δδ	0.67	Pb	722.73			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
270.00	0.67	722.73	43.50	8.03	2.05	119872.51	931.62	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 24			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
10.00	0.25	230.00	104.55					
20.00	0.51	460.00	209.09					
30.00	0.76	680.00	309.09					
40.00	1.02	950.00	431.82					
50.00	1.27	1140.00	518.18					
60.00	1.52	1360.00	618.18					
70.00	1.78	1450.00	659.09					
80.00	2.03	1530.00	695.45					
82.00	2.08	1540.00	700.00					
90.00	2.29	0.00	0.00					
CARGA MAX		1540.00	700.00					
Ps	320.00	Δs	0.75					
Pi	10.00	Δi	0.00					
ΔP	310.00	Δδ	0.75	Pb	700.00			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
310.00	0.75	700.00	43.50	8.06	2.04	124303.30	907.80	

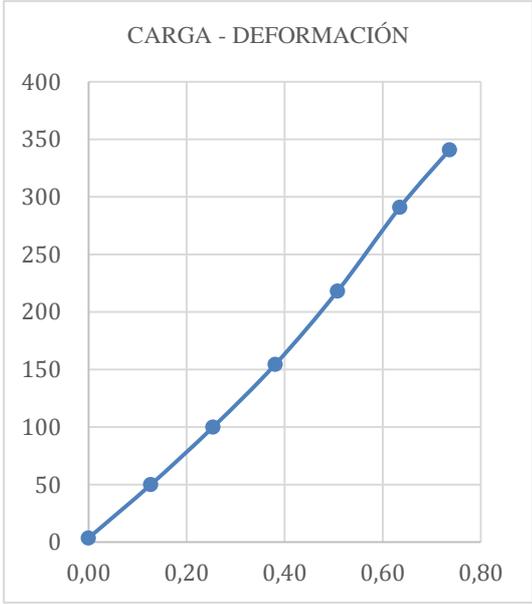
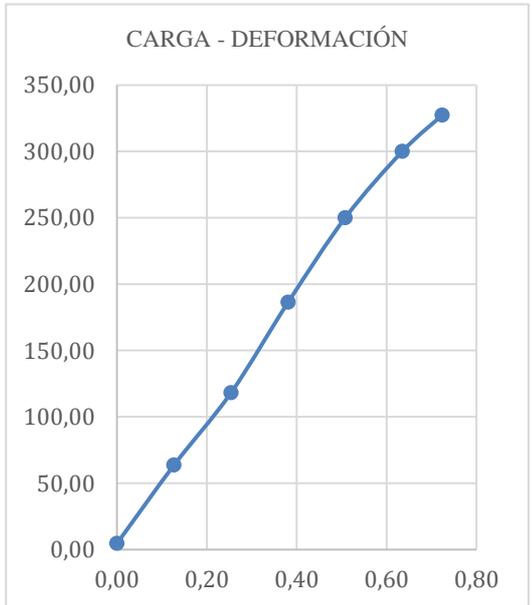
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 25			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
10.00	0.25	230.00	104.55					
20.00	0.51	470.00	213.64					
30.00	0.76	690.00	313.64					
40.00	1.02	900.00	409.09					
50.00	1.27	1080.00	490.91					
60.00	1.52	1220.00	554.55					
70.00	1.78	1340.00	609.09					
80.00	2.03	1440.00	654.55					
90.00	2.29	1490.00	677.27					
100.00	2.54	0.00	0.00					
CARGA MAX		1520.00	690.91					
Ps	400.00	Δs	0.98					
Pi	140.00	Δi	0.33					
ΔP	260.00	Δδ	0.65	Pb	690.91			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
260.00	0.65	690.91	43.50	8.08	2.05	118248.28	885.10	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 26			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	15.00	6.82					
10.00	0.25	220.00	100.00					
20.00	0.51	480.00	218.18					
30.00	0.76	780.00	354.55					
40.00	1.02	1030.00	468.18					
50.00	1.27	1230.00	559.09					
60.00	1.52	1380.00	627.27					
70.00	1.78	1570.00	713.64					
80.00	2.03	1650.00	750.00					
90.00	2.29	1770.00	804.55					
100.00	2.54	0.00	0.00					
CARGA MAX		1880.00	854.55					
Pi	450.00	Δi	0.96					
Pi	100.00	Δi	0.25					
ΔP	350.00	Δδ	0.71	Pb	854.55			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
350.00	0.71	854.55	43.50	7.98	2.06	145416.24	1097.71	

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 27			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
10.00	0.25	240.00	109.09					
20.00	0.51	570.00	259.09					
30.00	0.76	880.00	400.00					
40.00	1.02	1170.00	531.82					
50.00	1.27	1410.00	640.91					
60.00	1.52	1620.00	736.36					
70.00	1.78	1790.00	813.64					
80.00	2.03	1750.00	795.45					
90.00	2.29	0.00	0.00					
100.00	2.54	0.00	0.00					
CARGA MAX		1820.00	827.27					
Ps	480.00	Δs	0.92					
Pi	100.00	Δi	0.22					
ΔP	380.00	Δδ	0.70	Pb	827.27			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
380.00	0.70	827.27	43.50	8.04	2.05	161278.21	1065.06	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 28			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
10.00	0.25	240.00	109.09					
20.00	0.51	450.00	204.55					
30.00	0.76	670.00	304.55					
40.00	1.02	890.00	404.55					
50.00	1.27	1050.00	477.27					
60.00	1.52	1180.00	536.36					
70.00	1.78	1300.00	590.91					
80.00	2.03	1400.00	636.36					
90.00	2.29	1470.00	668.18					
100.00	2.54	1580.00	718.18					
CARGA MAX		1610.00	731.82					
Pi	420.00	Δi	1.05					
Pi	60.00	Δi	0.24					
ΔP	360.00	Δδ	0.81	Pb	731.82			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
360.00	0.81	731.82	43.50	8.07	2.07	127773.47	920.62	

## Anexo 2: Cálculo del MOE y MOR para láminas empalmadas con finger joint vertical

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 1 FJ Vertical				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	10.00	4.55						
5.00	0.13	150.00	68.18						
10.00	0.25	300.00	136.36						
15.00	0.38	480.00	218.18						
20.00	0.51	650.00	295.45						
25.00	0.64	800.00	363.64						
26.50	0.67	820.00	372.73						
CARGA MAX			372.73						
<b>Ps</b>	290.00	<b>Δs</b>	0.50						
<b>Pi</b>	100.00	<b>Δi</b>	0.19						
<b>ΔP</b>	190.00	<b>Δδ</b>	0.31	<b>Pb</b>	372.73				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
190.00	0.31	372.73	43.50	7.80	1.84	259568.28	613.97		
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 2 FJ Vertical				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	10.00	4.55						
5.00	0.13	160.00	72.73						
10.00	0.25	330.00	150.00						
15.00	0.38	530.00	240.91						
20.00	0.51	680.00	309.09						
25.00	0.64	780.00	354.55						
CARGA MAX			354.55						
<b>Ps</b>	250.00	<b>Δs</b>	0.40						
<b>Pi</b>	85.00	<b>Δi</b>	0.15						
<b>ΔP</b>	165.00	<b>Δδ</b>	0.25	<b>Pb</b>	354.55				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
165.00	0.25	354.55	43.50	7.83	1.86	229622.90	569.34		

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 3 FJ Vertical			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	5.00	2.27					
5.00	0.13	120.00	54.55					
10.00	0.25	210.00	95.45					
15.00	0.38	310.00	140.91					
20.00	0.51	430.00	195.45					
25.00	0.64	550.00	250.00					
30.00	0.76	670.00	304.55					
35.00	0.89	740.00	336.36					
CARGA MAX			336.36					
<b>Ps</b>	200.00	<b>Δs</b>	0.52					
<b>Pi</b>	50.00	<b>Δi</b>	0.14					
<b>ΔP</b>	150.00	<b>Δδ</b>	0.38	<b>Pb</b>	336.36			
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm2)</b>	<b>MOR (kg/cm2)</b>	
150.00	0.38	336.36	43.50	7.81	1.86	161631.34	541.53	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 4 FJ Vertical			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	7.00	3.18					
5.00	0.13	120.00	54.55					
10.00	0.25	250.00	113.64					
15.00	0.38	390.00	177.27					
20.00	0.51	530.00	240.91					
25.00	0.64	670.00	304.55					
28.80	0.73	730.00	331.82					
CARGA MAX			331.82					
<b>Pi</b>	285.00	<b>Δi</b>	0.60					
<b>Pi</b>	90.00	<b>Δi</b>	0.20					
<b>ΔP</b>	195.00	<b>Δδ</b>	0.40	<b>Pb</b>	331.82			
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm2)</b>	<b>MOR (kg/cm2)</b>	
195.00	0.40	331.82	43.50	7.82	1.85	202609.81	539.31	

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 5 FJ Vertical				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	8.00	3.64						
5.00	0.13	110.00	50.00						
10.00	0.25	220.00	100.00						
15.00	0.38	340.00	154.55						
20.00	0.51	480.00	218.18						
25.00	0.64	640.00	290.91						
29.00	0.74	750.00	340.91						
CARGA MAX			340.91						
<b>Ps</b>	165.00	<b>Δs</b>	0.40						
<b>Pi</b>	50.00	<b>Δi</b>	0.12						
<b>ΔP</b>	115.00	<b>Δδ</b>	0.28	<b>Pb</b>	340.91				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
115.00	0.28	340.91	43.50	7.83	1.84	173273.58	559.41		
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 6 FJ Vertical				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	10.00	4.55						
5.00	0.13	140.00	63.64						
10.00	0.25	260.00	118.18						
15.00	0.38	410.00	186.36						
20.00	0.51	550.00	250.00						
25.00	0.64	660.00	300.00						
28.50	0.72	720.00	327.27						
CARGA MAX			327.27						
<b>Pi</b>	250.00	<b>Δi</b>	0.50						
<b>Pi</b>	90.00	<b>Δi</b>	0.18						
<b>ΔP</b>	160.00	<b>Δδ</b>	0.32	<b>Pb</b>	327.27				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
160.00	0.32	327.27	43.50	7.83	1.84	210941.75	537.03		

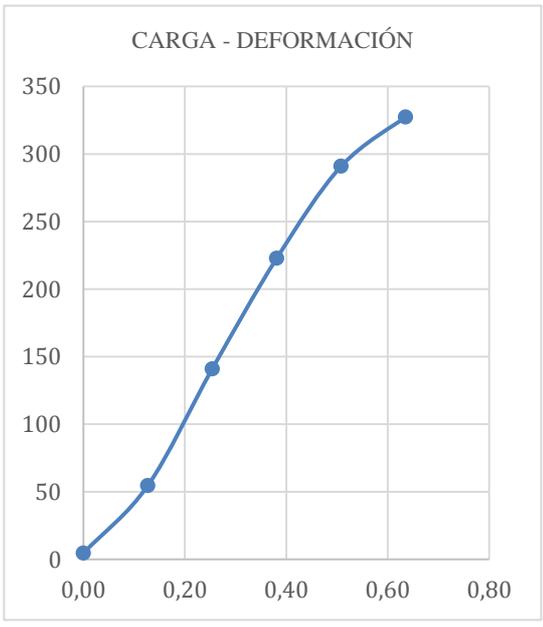
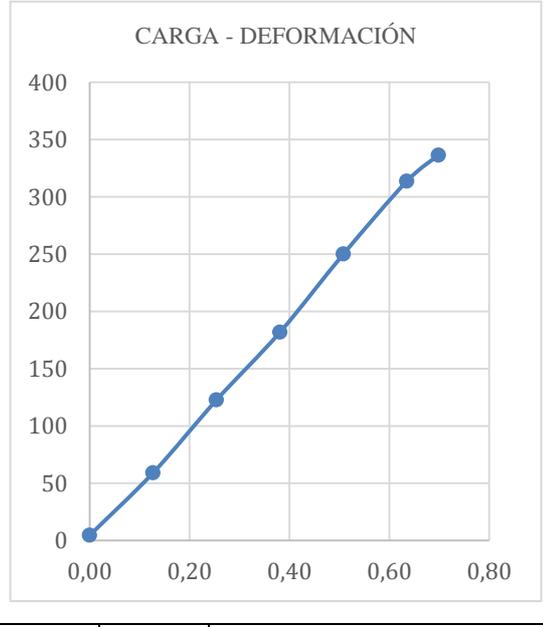
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 7 FJ Vertical				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	10.00	4.55						
5.00	0.13	130.00	59.09						
10.00	0.25	240.00	109.09						
15.00	0.38	370.00	168.18						
20.00	0.51	510.00	231.82						
23.80	0.60	580.00	263.64						
CARGA MAX			263.64						
CARGA MAX									
Ps	200.00	Δs	0.44						
Pi	70.00	Δi	0.16						
ΔP	130.00	Δδ	0.28	Pb	263.64				
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)		
130.00	0.28	263.64	43.50	7.84	1.85	192469.47	427.40		
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 8 FJ Vertical				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	10.00	4.55						
5.00	0.13	110.00	50.00						
10.00	0.25	210.00	95.45						
15.00	0.38	340.00	154.55						
20.00	0.51	490.00	222.73						
25.00	0.64	650.00	295.45						
28.00	0.71	730.00	331.82						
CARGA MAX			331.82						
Pi	230.00	Δi	0.56						
Pi	90.00	Δi	0.24						
ΔP	140.00	Δδ	0.32	Pb	331.82				
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)		
140.00	0.32	331.82	43.50	7.86	1.84	183869.55	542.41		

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 9 FJ Vertical				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	10.00	4.55						
5.00	0.13	120.00	54.55						
10.00	0.25	250.00	113.64						
15.00	0.38	410.00	186.36						
20.00	0.51	570.00	259.09						
24.00	0.61	630.00	286.36						
CARGA MAX			286.36						
<b>Ps</b>	260.00	<b>Δs</b>	0.50						
<b>Pi</b>	80.00	<b>Δi</b>	0.18						
<b>ΔP</b>	180.00	<b>Δδ</b>	0.32	<b>Pb</b>	286.36				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
180.00	0.32	286.36	43.50	7.80	1.85	234379.98	466.63		
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 10 FJ Vertical				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	0.00	0.00						
5.00	0.13	125.00	56.82						
10.00	0.25	270.00	122.73						
15.00	0.38	430.00	195.45						
20.00	0.51	600.00	272.73						
25.00	0.64	750.00	340.91						
29.00	0.74	790.00	359.09						
CARGA MAX			359.09						
<b>Pi</b>	205.00	<b>Δi</b>	0.40						
<b>Pi</b>	70.00	<b>Δi</b>	0.16						
<b>ΔP</b>	135.00	<b>Δδ</b>	0.24	<b>Pb</b>	359.09				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
135.00	0.24	359.09	43.50	7.85	1.86	229151.03	575.17		

## Anexo 3: Cálculo del MOE y MOR para láminas empalmadas con finger joint horizontal

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 11 FJ Horizontal				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	15.00	6.82						
5.00	0.13	130.00	59.09						
10.00	0.25	280.00	127.27						
15.00	0.38	470.00	213.64						
20.00	0.51	640.00	290.91						
25.00	0.64	780.00	354.55						
28.50	0.72	800.00	363.64						
CARGA MAX			363.64						
<b>Ps</b>	180.00	<b>Δs</b>	0.36						
<b>Pi</b>	60.00	<b>Δi</b>	0.15						
<b>ΔP</b>	120.00	<b>Δδ</b>	0.21	<b>Pb</b>	363.64				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
120.00	0.21	363.64	43.50	7.83	1.86	233382.96	583.94		
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 12 FJ Horizontal				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	12.00	5.45						
5.00	0.13	130.00	59.09						
10.00	0.25	260.00	118.18						
15.00	0.38	420.00	190.91						
20.00	0.51	580.00	263.64						
25.00	0.64	700.00	318.18						
30.00	0.76	780.00	354.55						
CARGA MAX			354.55						
<b>Pi</b>	200.00	<b>Δi</b>	0.40						
<b>Pi</b>	85.00	<b>Δi</b>	0.18						
<b>ΔP</b>	115.00	<b>Δδ</b>	0.22	<b>Pb</b>	354.55				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
115.00	0.22	354.55	43.50	7.79	1.85	218087.26	578.47		

ENSAYO	Flexión			NORMA		JAS for glued laminated timber		
ESPECIE	Eucalipto Globulus			CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 13 FJ Horizontal		
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
5.00	0.13	140.00	63.64					
10.00	0.25	280.00	127.27					
15.00	0.38	470.00	213.64					
20.00	0.51	670.00	304.55					
23.50	0.60	740.00	336.36					
CARGA MAX			336.36					
Ps	280.00	Δs	0.52					
Pi	100.00	Δi	0.20					
ΔP	180.00	Δδ	0.32	Pb	336.36			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
180.00	0.32	336.36	43.50	7.81	1.86	230324.66	541.53	
ENSAYO	Flexión			NORMA		JAS for glued laminated timber		
ESPECIE	Eucalipto Globulus			CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 14 FJ Horizontal		
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
5.00	0.13	130.00	59.09					
10.00	0.25	300.00	136.36					
15.00	0.38	490.00	222.73					
20.00	0.51	640.00	290.91					
25.00	0.64	740.00	336.36					
28.50	0.72	790.00	359.09					
CARGA MAX			359.09					
Pi	180.00	Δi	0.44					
Pi	95.00	Δi	0.24					
ΔP	85.00	Δδ	0.20	Pb	359.09			
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	
85.00	0.20	359.09	43.50	7.82	1.86	173800.54	577.38	

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 15 FJ Horizontal				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	10.00	4.55						
5.00	0.13	120.00	54.55						
10.00	0.25	310.00	140.91						
15.00	0.38	490.00	222.73						
20.00	0.51	640.00	290.91						
25.00	0.64	720.00	327.27						
CARGA MAX			327.27						
Ps	250.00	Δs	0.54						
Pi	100.00	Δi	0.26						
ΔP	150.00	Δδ	0.28	Pb	327.27				
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)		
150.00	0.28	327.27	43.50	7.78	1.86	220202.67	528.92		
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 16 FJ Horizontal				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	10.00	4.55						
5.00	0.13	130.00	59.09						
10.00	0.25	270.00	122.73						
15.00	0.38	400.00	181.82						
20.00	0.51	550.00	250.00						
25.00	0.64	690.00	313.64						
27.50	0.70	740.00	336.36						
CARGA MAX			336.36						
Pi	180.00	Δi	0.42						
Pi	90.00	Δi	0.22						
ΔP	90.00	Δδ	0.20	Pb	336.36				
ΔP (kgf)	Δδ (cm)	Pb (kgf)	l (cm)	b (cm)	h	MOE (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)		
90.00	0.20	336.36	43.50	7.80	1.86	184495.96	542.22		

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 17 FJ Horizontal			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
5.00	0.13	150.00	68.18					
10.00	0.25	300.00	136.36					
15.00	0.38	470.00	213.64					
20.00	0.51	630.00	286.36					
25.00	0.64	750.00	340.91					
26.00	0.66	780.00	354.55					
CARGA MAX			354.55					
<b>Ps</b>	285.00	<b>Δs</b>	0.50					
<b>Pi</b>	120.00	<b>Δi</b>	0.23					
<b>ΔP</b>	165.00	<b>Δδ</b>	0.27	<b>Pb</b>	354.55			
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm2)</b>	<b>MOR (kg/cm2)</b>	
165.00	0.27	354.55	43.50	7.80	1.86	250550.1	571.53	
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber			
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 18 FJ Horizontal			
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)					
0.00	0.00	10.00	4.55					
5.00	0.13	130.00	59.09					
10.00	0.25	250.00	113.64					
15.00	0.38	370.00	168.18					
20.00	0.51	520.00	236.36					
25.00	0.64	670.00	304.55					
30.00	0.76	780.00	354.55					
32.50	0.83	810.00	368.18					
CARGA MAX			368.18					
<b>Pi</b>	180.00	<b>Δi</b>	0.43					
<b>Pi</b>	50.00	<b>Δi</b>	0.10					
<b>ΔP</b>	130.00	<b>Δδ</b>	0.33	<b>Pb</b>	368.18			
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm2)</b>	<b>MOR (kg/cm2)</b>	
130.00	0.33	368.18	43.50	7.84	1.85	163307.43	596.89	

ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 19 FJ Horizontal				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	10.00	4.55						
5.00	0.13	120.00	54.55						
10.00	0.25	250.00	113.64						
15.00	0.38	400.00	181.82						
20.00	0.51	540.00	245.45						
25.00	0.64	630.00	286.36						
29.00	0.74	660.00	300.00						
CARGA MAX			300.00						
<b>Ps</b>	240.00	<b>Δs</b>	0.50						
<b>Pi</b>	80.00	<b>Δi</b>	0.18						
<b>ΔP</b>	160.00	<b>Δδ</b>	0.32	<b>Pb</b>	300.00				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm2)</b>	<b>MOR (kg/cm2)</b>		
160.00	0.32	300.00	43.50	7.81	1.81	222172.87	510.04		
ENSAYO	Flexión		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		CH ≈ 12% ..... # 20 FJ Horizontal				
Deformación (1/100) pulg	Deformación (cm)	Carga (lb)	Carga (kg)						
0.00	0.00	10.00	4.55						
5.00	0.13	120.00	54.55						
10.00	0.25	220.00	100.00						
15.00	0.38	350.00	159.09						
20.00	0.51	490.00	222.73						
25.00	0.64	630.00	286.36						
30.00	0.76	730.00	331.82						
31.00	0.79	760.00	345.45						
CARGA MAX			345.45						
<b>Pi</b>	290.00	<b>Δi</b>	0.64						
<b>Pi</b>	110.00	<b>Δi</b>	0.28						
<b>ΔP</b>	180.00	<b>Δδ</b>	0.36	<b>Pb</b>	345.45				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm2)</b>	<b>MOR (kg/cm2)</b>		
180.00	0.36	345.45	43.50	7.88	1.87	199676.40	545.34		

Anexo 4: Proceso de fabricación de vigas de MLE

Canteado de la madera



Cepillado de la madera



Aserrado de la madera



Elaboración unión finger joint



Preparación del adhesivo



Encolado de láminas



Prensado



Producto final



## Anexo 5: Cálculo del MOE y MOR para vigas a escala real

ENSAYO	Flexión Viga a escala real		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		L= 3m; Adhesivo: MUF				
Deformación (cm)		Carga (kg)							
0.00	208.00								
0.10	328.00								
0.30	448.00								
0.60	568.00								
0.80	688.00								
1.00	808.00								
1.10	928.00								
1.20	1048.00								
1.60	1168.00								
1.80	1288.00								
2.10	1408.00								
2.20	1528.00								
2.40	1648.00								
2.90	1768.00								
CARGA MAX		1768.00							
<b>Ps</b>	1340.00	<b>Δs</b>	1.93						
<b>Pi</b>	230.00	<b>Δi</b>	0.30						
<b>ΔP</b>	1110.00	<b>Δδ</b>	1.63	<b>Pb</b>	1768.00				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>s (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
1110.00	1.63	1768.00	300.00	66.00	5.80	16.70	158713.87	383.64	
ENSAYO	Flexión Viga a escala real		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		L= 3m; Adhesivo: PVA D3				
Deformación (cm)		Carga (kg)							
0.00	208.00								
0.10	328.00								
0.60	448.00								
0.90	568.00								
1.00	688.00								
1.30	808.00								
1.90	928.00								
2.10	1048.00								
2.30	1168.00								
3.00	1288.00								
3.30	1408.00								
3.50	1528.00								
4.00	1648.00								
4.30	1768.00								
4.80	1888.00								
CARGA MAX		1888.00							
<b>Ps</b>	1840.00	<b>Δs</b>	4.51						
<b>Pi</b>	240.00	<b>Δi</b>	0.02						
<b>ΔP</b>	1600.00	<b>Δδ</b>	4.49	<b>Pb</b>	1888.00				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>s (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
1600.00	4.49	1888.00	300.00	66	5.80	16.70	83052.59	409.68	

ENSAYO	Flexión Viga a escala real		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		L= 4.5m; Adhesivo: PVA D3; sin FJ				
Deformación (cm)		Carga (kg)							
0.00		208.00							
0.40		448.00							
0.70		688.00							
1.00		928.00							
1.70		1168.00							
2.00		1408.00							
2.40		1648.00							
2.70		1888.00							
3.10		2128.00							
3.50		2288.00							
CARGA MAX		...							
<b>Ps</b>	1280.00	<b>Δs</b>	1.84						
<b>Pi</b>	250.00	<b>Δi</b>	0.08						
<b>ΔP</b>	1030.00	<b>Δδ</b>	1.76	<b>Pb</b>	0.00				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>s (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
1030.00	1.76	0.00	445.00	101	7.70	24.00	112470.16	0.00	

ENSAYO	Flexión Viga a escala real		NORMA		JAS for glued laminated timber				
ESPECIE	Eucalipto Globulus		CONDICIÓN MUESTRA		L= 4.5m; Adhesivo: PVA D3; con FJ				
Deformación (cm)		Carga (kg)							
0.00		208.00							
0.50		448.00							
1.10		688.00							
1.80		928.00							
2.30		1168.00							
3.00		1408.00							
3.80		1648.00							
4.30		1888.00							
5.10		2128.00							
5.70		2288.00							
CARGA MAX		...							
<b>Pi</b>	1930.00	<b>Δi</b>	4.44						
<b>Pi</b>	350.00	<b>Δi</b>	0.32						
<b>ΔP</b>	1580.00	<b>Δδ</b>	4.12	<b>Pb</b>	0.00				
<b>ΔP (kgf)</b>	<b>Δδ (cm)</b>	<b>Pb (kgf)</b>	<b>l (cm)</b>	<b>s (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
1580.00	4.12	0.00	445.00	101	7.70	24.00	73700.87	0.00	

Anexo 6: Cálculo de cargas últimas para vigas a escala real ensayadas a flexión

### Cálculo de cargas últimas para vigas a escala real ensayadas a flexión

- **Viga de MLE luz 3 m**

Dimensiones:

$h = 16.7 \text{ cm}$

$b = 5.8 \text{ cm}$

$L = 300 \text{ cm}$

Para un MOE igual a 14129.6 MPa, de acuerdo con la norma chilena el esfuerzo de flexión es de 25.5 MPa (260 kg/cm<sup>2</sup>).

$$\sigma_f = \frac{M * c}{I}$$

$\sigma_f$ : Esfuerzo de flexión máximo resistente

$M$ : Momento flector máximo

$c$ : Distancia desde el eje neutro a la fibra más alejada

$I$ : Inercia de la sección

$$\sigma_f = \frac{P * x * \left(\frac{h}{2}\right)}{\frac{(b * h^3)}{12}}$$

$P$ : Carga máxima en cada punto

$x$ : Distancia desde el apoyo al punto de aplicación de carga. (Ver figura 2.5)

$$P = \frac{\sigma_f * b * h^2}{6 * x} \quad \rightarrow \quad P = \frac{260 * 5.8 * 16.7^2}{6 * 116.9}$$

**$P = 599.6 \text{ Kg}$  en cada punto**

- **Viga de MLE luz 4.5 m**

Dimensiones:

$$h = 24 \text{ cm}$$

$$b = 7.7 \text{ cm}$$

$$L = 450 \text{ cm}$$

Para un MOE igual a 14129.6 MPa, de acuerdo con la norma chilena el esfuerzo de flexión es de 25.5 MPa (260 kg/cm<sup>2</sup>).

$$\sigma_f = \frac{M * c}{I}$$

$\sigma_f$ : Esfuerzo de flexión máximo resistente

$M$ : Momento flector máximo

$c$ : Distancia desde el eje neutro a la fibra más alejada

$I$ : Inercia de la sección

$$\sigma_f = \frac{P * x * \left(\frac{h}{2}\right)}{\frac{(b * h^3)}{12}}$$

$p$ : Carga máxima en cada punto

$x$ : Distancia desde el apoyo al punto de aplicación de carga. (Ver figura 2.5)

$$P = \frac{\sigma_f * b * h^2}{6 * x} \quad \rightarrow \quad P = \frac{260 * 7.7 * 24^2}{6 * 172}$$

**$P = 1117.4 \text{ Kg}$  en cada punto**

Anexo 7: Cálculo de tensiones de diseño para pórtico de MLE en eucalipto

### Diseño de pórtico en MLE de eucalipto globulus.

- **Diseño a flexión de viga.**

Dimensiones:

$$h = 18.5 \text{ cm}$$

$$b = 9.2 \text{ cm}$$

$$L = 450 \text{ cm}$$

Restricción por volcamiento

$$\lambda v = \sqrt{\frac{lv * h}{b^2}} \leq 50$$

$$\text{sí } \frac{la}{h} \geq 7 \text{ entonces } lv = 1.63la + 3h$$

$$\frac{450}{18.5} = 24.32 \quad lv = 1.63(4500) + 3(185) \quad lv = 7890 \text{ mm}$$

$$\lambda v = \sqrt{\frac{7890 * 185}{92^2}} = 13.13 \leq 50 \quad ok$$

Tensión de diseño en flexión en la zona flexo-traccionada

$$F_{ft,dis} = F_f * K_H * K_D * K_C * K_{hf}$$

$F_{ft,dis}$ : Tensión de diseño en flexión en el borde traccionado, en MPa

$F_f$ : Tensión admisible en flexión, asignada según el grado y clase estructural

$K_H$ : Factor de modificación por contenido de humedad

$K_D$ : Factor de modificación por duración de carga

$K_C$ : Factor de modificación por trabajo conjunto

$K_{hf}$ : Factor de modificación por altura

$$F_f = 26.15 \text{ MPa}$$

$$K_H = 1 \text{ madera con } CH = 12\%$$

$$K_D = 1 \text{ tiempo} = 10 \text{ años}$$

$$K_C = 1$$

$$K_{hf} = \left(\frac{50}{h}\right)^{1/9}$$

$$K_{hf} = 0.865$$

$$F_{ft,dis} = 26.15 * 1 * 1 * 1 * 0.865$$

$$F_{ft,dis} = \mathbf{22.92 \text{ MPa}}$$

Tensión de diseño en flexión en la zona flexo-comprimida

$$F_{fv,dis} = F_f * K_H * K_D * K_C * K_{hf}$$

$$K_{hf} = 1 \text{ relación } \frac{h}{b} = 2$$

$$F_{fv,dis} = \mathbf{26.15 \text{ MPa}}$$

- **Diseño de columna.**

Dimensiones:

$$h = 9.3 \text{ cm}$$

$$b = 11 \text{ cm}$$

$$L = l = 210 \text{ cm}$$

Esbeltez reguladora de diseño

$$lp = l * k \rightarrow k = \text{Factor de longitud efectiva} = 1 \rightarrow lp = 210 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{lp}{i} \leq 170 \text{ para elementos principales}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad i = \sqrt{\frac{11 * 9.3^3 / 12}{11 * 9.3}} \quad i = 2.685$$

$$\lambda = \frac{210}{2.685} = 78.21 \leq 170 \text{ ok}$$

Tensión de diseño

$$F_{cp,\lambda,dis} = F_{cp,dis} * K_\lambda \rightarrow \lambda \geq 10$$

$F_{cp,\lambda,dis}$ : Tensión de diseño en compresión paralela considerando inestabilidad

$$F_{cp,dis} = F_{cp} * K_H * K_D$$

$F_{cp}$ : Tensión admisible en compresión paralela, asignada según el gado y clase estructural = 19.52 MPa

$$K_H = 1$$

$$K_D = 1$$

$K_\lambda$ : Factor de modificación por esbeltez

$$K_\lambda = A - \sqrt{A^2 - B}$$

$$A = \frac{\frac{F_{cEml}}{F_{cp,dis}} * \left(1 + \frac{\lambda}{300}\right) + 1}{1.8}$$

$$B = \frac{F_{cEml}}{0.9 * F_{cp,dis}}$$

$$F_{cEml} = \frac{5 * E_{dis}}{\lambda^2}$$

$E_{dis}$ : Módulo de elasticidad e diseño = 14129.6 MPa

$F_{cp,dis} = 19.52$  MPa

$$F_{cEml} = \frac{5 * 14129.6}{78.21^2} = 11.55$$

$$B = \frac{11.55}{0.9 * 19.52} = 0.65$$

$$A = \frac{\frac{11.55}{19.52} * \left(1 + \frac{78.21}{300}\right) + 1}{1.8} = 0.97$$

$$K_\lambda = 0.97 - \sqrt{0.97^2 - 0.65} = 0.431$$

$$F_{cp,\lambda,dis} = 19.52 * 0.431$$

$$\mathbf{F_{cp,\lambda,dis} = 8.4 MPa}$$