



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE GRADO

“ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RESISTENCIA A
FLEXIÓN EN MADERAS LAMINADAS CON JUNTAS FINGER Y
ENCOLADAS”

POSTULANTE: DIEGO ARIEL ATAHUACHI MAGNE

ASESOR: ING. LUIS ADOLFO CASTRO VEGA

LA PAZ - BOLIVIA



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor *Ing. Adolfo Castro Vega:*

Que dedico su tiempo, puso toda su confianza, paciencia y comprensión ante situaciones adversas al momento del desarrollo de dicho proyecto de grado, además de compartir sus conocimientos y consejos profesionales con mi persona, los cuales aplique en el desarrollo del presente proyecto.

A la empresa DEKMA BOLIVIA:

Por haber dispuesto sus instalaciones, maquinaria y personal calificado sin restricciones, logrando la elaboración de las probetas para el proyecto. A la Ing. Paulet Quiñajo Romero por disponer su tiempo para la organización en el proceso de los diferentes trabajos.

A mis padres *Ana Magne Y. y Andrés Atahuachi V.:*

Por el apoyo incondicional recibido en todo momento, desde mi infancia hasta estos momentos, por la confianza y esfuerzo puesto en su hijo para obtener un título profesional, con constantes consejos y apoyo moral.

DEDICATORIA

A mi amada esposa *Gabriela Lozano Cadena*:

Por ser un gran apoyo y motivación durante estos años de matrimonio, comprendiendo cada ausencia en casa y remplazando mis labores de padre en esos momentos. Por el amor desmesurado hacia mi persona y a nuestros hijos.

A mis queridos hijos *Dessiré y Aldair*:

Por haber llegado a mi vida y ser la inspiración para salir adelante como persona, padre, esposo y profesional, gracias a ellos por darme la dicha de ser padre y ejemplo para guiarlos a ser personas de bien y grandes profesionales.

ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RESISTENCIA A FLEXIÓN EN MADERAS LAMINADAS CON JUNTAS FINGER Y ENCOLADAS

Diego Ariel Atahuachi Magne
E-MAIL: diego_23dm@hotmail.com – CEL.: 70668576
Urb. Jaime Paz Zamora – El Alto – Calle 3 N° 49

RESUMEN

En nuestro medio se puede observar claramente la disponibilidad de madera como materia prima, sin embargo estas no han sido utilizadas como elementos estructurales de grandes luces, gracias al estudio realizado en forma semi artesanal por el Ing. Ysmael Titirico Condori sobre el módulo de elasticidad y resistencia a flexión en maderas laminadas encoladas, es que se procedió a realizar el estudio de las propiedades mecánicas de madera laminada con juntas Finger y encoladas de forma industrial siguiendo la Norma UNE-EN 408, con la utilización de máquinas sofisticadas, para poder realizar la comparación de las propiedades mecánicas con la Norma Chilena, la Norma Europea y el proyecto de grado del Ing. Ysmael Titirico Condori.

La elaboración de las probetas se las realizó en la empresa “DEKMA BOLIVIA”; preparándose tres probetas con madera de resistencia media (bibosi y quecho) obtenida en barracas y encoladas con pegamento comercial (D3), y otras tres probetas con madera y pegamento perteneciente a la empresa (cambara, EPI D4 respectivamente). Para la elaboración de las probetas con una mayor resistencia se hizo una adecuada distribución de las diferentes piezas, para de esa manera tener un mejor aprovechamiento de las piezas de baja resistencia.

Una vez realizado los ensayos a flexión se pudo observar en las diferentes probetas que el adhesivo utilizado es apropiado, más el control de su aplicación tanto para la junta Finger como para el encolado entre laminas debe ser modificado al tipo de elemento elaborado. Posterior a los ensayos mecánicos realizados en laboratorio, los resultados se compararon con las normas anteriormente mencionadas, obteniendo resultados superiores a estos. Las probetas con madera de barraca obtuvieron mayor resistencia que las probetas con madera de la empresa, sin embargo esta última no supero a la resistencia obtenida en el proyecto del Ing. Ysmael Titirico Condori, pero si a la resistencia de ambas normas, siendo los resultados correctos para la elaboración de elementos estructurales y posterior aplicación en diferentes obras civiles, obteniendo una estructura resistente y estética para el área urbana.

SUMMARY

In our environment you can clearly see the availability of wood as a raw material, however these have not been used as structural elements of large lights, thanks to the study carried out in a semi-handmade way by Ing. Ysmael Titirico Condori on the modulus of elasticity and Flexural strength in glued laminated wood, is that we proceeded to study the mechanical properties of laminated wood with finger joints and glued industrially following the UNE-EN 408 standard, with the use of sophisticated machines, to perform the Comparison of the mechanical properties with the Chilean Standard, the European Norm and the draft degree of Eng. Ysmael Titirico Condori.

The elaboration of the test tubes was carried out in the company "DEKMA BOLIVIA"; Three test pieces were prepared with medium resistance wood (bibosi and quecho) obtained in barracks and glued with commercial glue (D3), and three other test pieces with wood and glue belonging to the company (cambara, EPI D4 respectively). For the elaboration of the test pieces with a greater resistance, an adequate distribution of the different pieces was made, in order to have a better use of the pieces of low resistance.

Once the bending tests were carried out, it was possible to observe in the different test pieces that the adhesive used is appropriate, plus the control of its application both for the Finger joint and for the gluing between sheets must be modified to the type of elaborated element. After the mechanical tests carried out in the laboratory, the results were compared with the aforementioned standards, obtaining superior results. The test pieces with wood of barraca obtained greater resistance than the samples with wood of the company, nevertheless this last one did not surpass to the resistance obtained in the project of Ing. Ysmael Titirico Condori, but if to the resistance of both norms, being the results correct for the development of structural elements and subsequent application in different civil works, obtaining a resistant and aesthetic structure for the urban area.

LISTA DE FIGURAS

Figura: 1.1 Juntas Tipo Espiga	
Fuente: Proyecto de grado: “Estudio del módulo de elasticidad y resistencia a flexión en maderas laminadas encoladas”	(Pág. 14)
Figura: 2.1 Estructura de madera laminada para una nave industrial	
Fuente: Obras con Estructuras de Madera Laminada.....	(Pág. 18)
Figura 2.2 Junta Finger entre dos piezas, longitudinalmente	
Fuente: Tableros y molduras Felix Bermejo.....	(Pág. 19)
Figura 2.3 Corte con maquinaria (sistema de empalme Finger Joint)	
Fuente: Tableros y molduras Felix Bermejo.....	(Pág. 20)
Figura 2.4 Taller de elaboración de vigas de MLE en España (Arriaga, 2004).	
Fuente: Instituto de Investigaciones Tecnológicas Celano Jorge Alberto – Jacobo Guillermo José... ..	(Pág. 21)
Figura 3.1 Contenido de humedad de equilibrio en la ciudad de La Paz	
Fuente: Materiales de Construcción y Laboratorio, CIV-216 UMSA Ing. Jorge Ichazu Cortez.....	(Pág. 25)
Figura 3.2 Pegamento (cola blanca).	
Fuente: Propia.....	(Pág. 26)
Figura 4.1 Dispositivo de ensayo para la medición del módulo de elasticidad en flexión.	
Fuente: Estructuras de Madera (Norma Española UNE–EN 408).	(Pág. 50)
Figura 4.2 Grafico carga deformación dentro de los márgenes de deformación elástica.	
Fuente: Estructuras de Madera (Norma Española UNE–EN 408).	(Pág. 52)
Figura 4.3 Dimensiones de la muestra en mm.	
Fuente: Norma ASTM-D-905-08.	(Pág. 53)
Figura 4.4 Esquema de la máquina para ensayar a corte en la línea de adhesivo.	
Fuente: Norma ASTM-D-905-08.	(Pág. 54)

LISTA DE FOTOS

Foto 4.1 Madera de barraca acopiada.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 31)
Foto 4.2 Piezas de madera dispuesta por la empresa acopiada.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 31)
Foto 4.3 Material con el que cuenta la empresa en galpones.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 32)
Foto 4.4 Acarreo de las piezas de madera al horno para su secado.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 32)

Foto 4.5 Hornos de grandes dimensiones para el secado de la madera.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 33)
Foto 4.6 Instrumento para la medición de humedad en las maderas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 33)
Foto 4.7 Corte transversal de las láminas de madera.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 34)
Foto 4.8 Corte de la sección de las probetas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 35)
Foto 4.9 Medición del peso de las muestras en gramos.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 35)
Foto 4.10 Parafinado de las muestras.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 36)
Foto 4.11 Sistema creado para la determinación del volumen de la probeta.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 36)
Foto 4.12 Moldurado de las láminas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 39)
Foto 4.13 Distribución de las piezas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 39)
Foto 4.14 Recepción de láminas de madera para el corte Finger (Casillas que restringen la longitud de dichas láminas).	
Fuente: Propia.....	(Pág. 40)
Foto 4.15 Corte transversal de las piezas en la maquina Finger.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 40)
Foto 4.16 Colocado del adhesivo en las juntas de forma manual.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 41)
Foto 4.17 Colocado del adhesivo por la maquina (solo se puede observar el producto final, pues el proceso ocurre dentro la maquina).	
Fuente: Propia.....	(Pág. 41)
Foto 4.18 Unión entre piezas específicas de forma manual.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 42)
Foto 4.19 Prensado longitudinal para el encolado de las diferentes juntas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 42)
Foto 4.20 Producto final del encolado de la junta transversal.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 43)
Foto 4.21 Aplicación del pegamento de forma manual.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 43)

Foto 4.22 Manómetro de la maquina prensadora.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 44)
Foto 4.23 Prensado de las probetas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 44)
Foto 4.24 Probetas obtenidas posterior al prensado.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 45)
Foto 4.25 Acarreo de probetas con el montacargas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 45)
Foto 4.26 Corte trasversal de las probetas y secciones cortadas de las probetas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 46)
Foto 4.27 Enumerado de las probetas y limpieza previa de los bordes.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 46)
Foto 4.28 Cepillado de las probetas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 47)
Foto 4.29 Partes del instrumento para medir la humedad (contrapeso, agujas y expositor de resultado digital).	
Fuente: Propia.....	(Pág. 48)
Foto 4.30 Medición del contenido de humedad de las probetas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 48)
Foto 4.31 Acarreo de las probetas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 49)
Foto 4.32 Prensa Universal para el ensayo a flexión simple y adaptada para la luz de las probetas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 49)
Foto 4.33 Extensómetro sujeto en las probetas.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 50)
Foto 4.34 Muestras extraídas de las probetas para el ensayo a corte en la línea del adhesivo.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 53)
Foto 4.35 Máquinas para el ensayo a corte en la línea del adhesivo.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 54)
Foto 4.36 Monitor donde se observa la gráfica esfuerzo Vs extensión.	
Fuente: Propia.....	(Pág. 55)

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1 Dimensiones de las probetas. Fuente: Propia.....	(Pág. 48)
Tabla 5.1 Pesos específicos de madera de barracas. Fuente: Propia.....	(Pág. 57)
Tabla 5.2 Pesos específicos promedios de cada probeta. Fuente: Propia.....	(Pág. 58)
Tabla 5.3 Resumen de valores del ensayo a flexión. Fuente: Propia.....	(Pág. 58)
Tabla 5.4 Corrección de los resultados por altura, longitud y humedad. Fuente: Propia.....	(Pág. 61)
Tabla 5.5 Valores característicos de probetas de ambos proveedores. Fuente: Propia.....	(Pág. 62)
Tabla 5.6 Valor obtenidos en el ensayo de corte para ambos proveedores. Fuente: Propia.....	(Pág. 63)
Tabla 5.7 Tensiones básicas de MLE en pino radiata según la norma NCh 2165. Fuente: Norma NCh 2165.....	(Pág. 65)
Tabla 5.8 Madera laminada encolada combinada. Valores de las propiedades asociadas a cada clase resistente. Fuente: DB SE-M Anexo E.....	(Pág. 66)
Tabla 5.9 Cuadro comparativo de los esfuerzos. Fuente: Propia.....	(Pág. 66)

LISTA DE GRÁFICOS

Grafico 4.1 Pesos específicos de las piezas que conforman las probetas de la madera de barracas. Fuente: Propia.....	(Pág. 38)
Grafico 4.2 Pesos específicos de las piezas que conforman las probetas de la madera de la empresa. Fuente: Propia.....	(Pág. 38)
Grafico 5.1 Comparación entre valores del Módulo de Rotura. Fuente: Propia.....	(Pág. 67)
Grafico 5.2 Comparación entre valores del Módulo Elástico. Fuente: Propia.....	(Pág. 67)

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolo	Término
a	Distancia entre el punto de carga y el apoyo más próximo, en [mm]
a_f	Distancia ente los puntos de carga centrales, en [mm]
b	Base de la probeta, en [mm]
CH	Contenido de humedad de la madera, en [%]
E_m	Módulo de elasticidad, en [N/mm ²]
E_k	Valor característico 5° percentil del módulo elástico, en [N/mm ²]
$F_{b,f}$	Resistencia admisible a flexión según norma NCh 2165, en [MPa]
f_k	Valor característico 5° percentil de la resistencia a flexión, en [N/mm ²]
F_{max}	Carga máxima, en [N]
f_m	Tensión de rotura, en [N/mm ²]
$f_{m,g,k}$	Resistencia admisible a flexión MLE, en [N/mm ²]
f_v	Tensión de corte en la línea del adhesivo, en [N/mm ²]
$F_2 - F_1$	Incremento de carga en la parte recta de carga-deformación, en [N]
h	Altura de la probeta, en [mm]
I	Momento de Inercia, en [mm ⁴]
k_h	Factor de corrección de f_k si h es diferente a 150mm
k_l	Factor de corrección según la longitud
l	Luz de la probeta, en [mm]
l_{es}	Longitud efectiva en el procedimiento del ensayo normalizado, en [mm]
l_{et}	Longitud efectiva en el procedimiento del ensayo real, en [mm]
l_1	Longitud base de medida para el módulo de elasticidad, en [mm]
PE	Peso específico de las probetas, en [gr/cm ³]
P_m	Peso de la muestra, en [gr]
V_m	Volumen de la muestra, en [cm ³]
P_{mp}	Peso de la muestra con parafina, en [gr]
P_{mpa}	Peso de la muestra con parafina sumergida en agua, en [cm ³]
D_p	Densidad de la parafina, en [gr/cm ³]
PE_b	Peso específico básico, en [gr/cm ³]
S_r	Módulo de rotura de probetas ensayadas del 5° percentil (NCh 2165), en [MPa]
W	Modulo resistente de la sección, en [mm ³]
w	Deformación dela probeta, en [mm]
$w_2 - w_1$	Incremento de deformación correspondiente a $(F_2 - F_1)$, en [mm]
τ_m	Tensión de corte, en [N/mm ²]
k_s	Factor de corrección en función al número y tamaño de las muestras
k_v	Factor que tiene en cuenta la menor variabilidad de los valore de f_{05}
Abreviatura	Término
CHE	Contenido de humedad de equilibrio de la madera
IEM	Instituto de Ensayo de Materiales
MLE	Madera laminada encolada
MOR	Módulo de rotura a flexión
MOE	Módulo de elasticidad
MUF	Melamina Urea Formaldehido
PU	Poliuretano
PF	Fenol Formaldehido
RPF	Resorcina Fenol Formaldehido
RF	Resorcina Formaldehido
EP	Resinas Epoxi

UF	Urea Formaldehido
UMSA	Universidad Mayor de San Andrés
DB	Dekma Bolivia
MB	Madera obtenida de Barracas
ME	Madera dispuesta por la Empresa DEKMA-BOLIVIA

ÍNDICE GENERAL

Agradecimiento.....	(Pág. 1)
Dedicatoria.....	(Pág. 2)
Resumen.....	(Pág. 3)
Lista de figuras.....	(Pág. 5)
Lista de fotos.....	(Pág. 5)
Lista de tablas.....	(Pág. 7)
Lista de gráficos.....	(Pág. 8)
Lista de símbolos y abreviaturas.....	(Pág. 9)
Índice general.....	(Pág. 11)
CAPÍTULO: I	
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	(Pág. 12)
CAPÍTULO: II	
2. MARCO TEÓRICO.....	(Pág. 17)
CAPÍTULO: III	
3. FABRICACIÓN DE MADERA LAMINADA CON JUNTA FINGER.....	(Pág. 22)
CAPÍTULO: IV	
4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	(Pág. 29)
CAPÍTULO: V	
5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	(Pág. 56)
CAPÍTULO: VI	
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	(Pág. 68)
CAPÍTULO: VII	
7. ANEXOS.....	(Pág. 73)

CAPÍTULO: I

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Introducción.....	(Pág. 13)
1.2. Justificaciones.....	(Pág. 13)
1.2.1. Justificación técnica.....	(Pág. 13)
1.2.2. Justificación económica y ambiental.....	(Pág. 14)
1.3. Objetivos.....	(Pág. 15)
1.3.1. Objetivo general.....	(Pág. 15)
1.3.2. Objetivos específicos.....	(Pág. 15)
1.4. Alcances.....	(Pág. 15)

1.1. Introducción

En EEUU, Europa y Asia, la madera se utiliza como elemento estructural en una amplia variedad de formatos que son productos de mayor o menor grado de transformación. En los últimos años, la industria de los derivados de la madera con uso estructural está claramente dirigida hacia los productos prefabricados con propiedades mecánicas elevadas, consiguiendo de esta manera superar las limitaciones de la madera natural en cuando a sus dimensiones, anisotropía, higroscopicidad y defectos se refiere.¹

Actualmente en Bolivia no se cuenta con empresas que elaboren encolados de madera para su empleo en vigas estructurales de grandes luces y solicitaciones, por lo que con el presente proyecto se pretende dar a conocer a través de los estudios y ensayos correspondientes el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión de maderas encoladas con el sistema de juntas Finger, debido a que estas uniones dentadas permiten el saneado de los defectos que se pueden encontrar en la madera, y así es posible fabricar piezas libres de defectos.

La implementación de estos elementos de madera laminada encolada no solo se podrá aplicar en vigas con gran sollicitación y grandes luces, sino también en vigas y columnas de edificaciones, tanto para los elementos estructurales como para la rehabilitación de los mismos, como actualmente se está realizando en países vecinos. Dando al constructor una opción más de material para la ejecución de viviendas, siendo la madera un material que reúne una serie de propiedades como resistencia, adaptabilidad, versatilidad, etc., que la convierten en uno de los referentes del hábitat, decoración, construcción, envases y embalajes del siglo XXI. Así como también en estructuras complejas como son los puentes en arco y otros.

1.2. Justificaciones

1.2.1. Justificación técnica

Actualmente se cuenta con un estudio de maderas encoladas realizada por el Ing. Ysmael Titirico Condori², en el cual desarrollo todo el proceso de fabricación de las vigas de una forma semi artesanal, empleando juntas en forma de espiga (ver figura 1.1). La presente investigación pretende realizar una comparación con los resultados obtenidos en dicho Proyecto de Grado, la Norma Chilena y Europea.

¹ La madera laminada una alternativa estructural y ambiental

² “Estudio del módulo de elasticidad y resistencia a flexión en maderas laminadas encoladas” – Proyecto de grado: Ing. Ysmael Titirico Condori.



Figura 2.1 Juntas tipo espiga.

Fuente: Proyecto de grado: “Estudio del módulo de elasticidad y resistencia a flexión en maderas laminadas encoladas”

La unión con “cola” es uno de las innovaciones técnicas del siglo XX, la cual es aplicada en campos tan complejos de alta tecnología como en construcciones simples. En el campo de la madera se ha desarrollado la técnica de encolado, como una revolución técnica. El encolado es la vinculación más efectiva, no acarrea disminución de sección y su efectividad aumenta, y en algunos casos la resistencia nominal de las secciones³.

1.2.2. Justificación económica y ambiental

Bolivia tiene amplias zonas boscosas por tanto tiene disponibilidad de la madera como materia prima, la cual es utilizada como madera aserrada, en cambio, la madera encolada horizontal permitiría ampliar su uso a elementos estructurales de mayor envergadura. La madera laminada encolada estructural (MLE), se presenta en piezas de madera seca, maciza en sección transversal rectangular, de resistencia incrementada y con un ancho fijo y una altura constante o variable de eje recto o curvo, libres de defectos y unidas con un adhesivo, su dimensión en largo está limitada solo por las posibilidades de transporte. Por lo cual para la fabricación de maderas laminadas encoladas no se requiere importar la materia prima y los costos de esta bajan, además con un control adecuado para la reforestación se puede reducir el impacto ambiental que causa este efecto.

Las uniones tipo Finger requieren de un mayor cuidado en su elaboración, de ahí que es necesario utilizar máquinas para su corte así como para su encolado, en nuestro caso se cuenta en el país con una empresa que realiza este tipo de uniones (DEKMA BOLIVIA).

³ Producción de maderas laminadas encoladas como elementos constructivos. Celano Jorge Alberto – Jacobo Guillermo José

Los resultados de este estudio permitirán utilizar la madera en otros campos, como ser puentes de grandes luces, casas prefabricadas de bajo costo, etc, generándose la industrialización y por ende nuevas fuentes de trabajo en el país.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Obtener el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión de las probetas de madera laminada con juntas Finger y encoladas horizontalmente, para luego comparar los resultados obtenidos con los de la Norma Chilena, Europea y el Proyecto de Grado del Ing. Ysmael Titirico Condori, que a su vez son necesarios para el diseño de vigas estructurales.

1.3.2. Objetivos específicos

- Elaborar probetas de madera laminada con juntas Finger y encoladas, utilizando maderas tipo “C” (pacto Andino), tres probetas con las del mercado tradicional (barracas) y otras tres con madera de la empresa DEKMA-BOLIVIA.
- Determinar las propiedades de las láminas de madera que conforman la probeta como ser: contenido de humedad y peso específico bajo la norma UNE-EN 384.
- Realizar los ensayos de modulo elástico y resistencia a la flexión a las probetas elaboradas de madera laminada con juntas Finger y encoladas, bajo la norma UNE-EN 408.
- Determinar la tensión de corte de la línea de adhesivo.
- Comparar los resultados de modulo elástico y resistencia a la flexión con la Norma Chilena, Norma Europea y el Proyecto de Grado del Ing. Ysmael Titirico Condori.

1.4. Alcances

Para la realización de los ensayos se elaboraran probetas de madera laminada con junta Finger y encoladas usando las siguientes especies de madera: Cambara bicolor y Cambara macho (uso masivo a nivel industrial); Bibosi y Mapajo (empleado usualmente en los encofrados de las diferentes construcciones civiles). Las dos primeras (Cambara bicolor y Cambara macho) serán proporcionadas por la empresa “DEKMA BOLIVIA; las especies Bibosi y Mapajo, se las obtendrán en el mercado nacional, más precisamente en barracas dentro la ciudad de La Paz, de una manera aleatoria en diversas barracas.

La elaboración de las probetas están conformadas por cuatro láminas, y cada lámina entre tres y cinco piezas, la distribución de las diferentes piezas tanto como el de las láminas están dispuestas en función a la dureza de estas. Dicho dato se obtendrá del ensayo de peso específico de cada pieza de madera.

Se elaboraran un total de seis probetas, con un laminado horizontal y con dos tipos de pegamentos, de la siguiente manera:

- Con las maderas Cambara bicolor y Cambara macho se elaboraran tres probetas con cola de madera EPI-D4. (material proporcionado por la empresa DEKMA BOLIVIA”
- Con las maderas Bibosi y Mapajo se elaboraran otras tres probetas con cola blanca de madera D3 (cascola). (material obtenido en el mercado nacional)

El ensayo de las probetas para la obtención del módulo de elasticidad y resistencia a flexión se las realizara conforme indica la norma española UNE-EN 408. Los ensayos para determinar: las propiedades mecánicas de las piezas de madera, el módulo elástico y la resistencia a la flexión, se las realizaran en el laboratorio del Instituto de Ensayo de Materiales de la Carrera de Ingeniería Civil de la UMSA.

Para la determinación de las propiedades mecánicas de peso específico de las diversas piezas de las distintas especies de madera se realizó según la Norma Panamericana Copant.

La empresa “DEKMA BOLIVIA”, al contar con la maquinaria necesaria para trabajos en madera, nos proporcionó sus equipos y personal calificado para realizar los trabajos de: cortes tipo Finger, empleo de los diferentes pegamentos en las juntas, laminado horizontal y el prensado de las láminas para la elaboración de las probetas.

CAPÍTULO: II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Definición.....	(Pág. 18)
2.2. Juntas Finger.....	(Pág. 19)
2.2.1. Ventajas de la junta Finger.....	(Pág. 20)
2.2.2. Desventajas de la junta Finger.....	(Pág. 20)

2.1. Definición

La madera laminada encolada son elementos estructurales formados por el encolado de láminas de madera con la dirección de la fibra básicamente paralela. El espesor de láminas oscila habitualmente entre 20 mm como mínimo y 45 mm como máximo, siendo frecuentes espesores de 38 mm. El número de láminas encoladas será en general igual o superior a cuatro.

La tecnología ha permitido ampliar la gama de usos de la madera (ver figura 2.1), donde se resaltan sus cualidades estéticas, físico-mecánicas y de durabilidad. Por otra parte, ha permitido la producción de elementos estructurales de forma, tamaño, funcionalidad y creatividad no logrados con la madera simple maciza, e incluso con otros materiales tradicionales.



Figura 2.1 Estructura de madera laminada para una nave industrial
Fuente: Obras con Estructuras de Madera Laminada

Los materiales que se utilizan para su fabricación son: madera maciza estructural, adhesivos estructurales, productos protectores y productos de acabado.

Para obtener mayor información como la definición de láminas de madera, los tipos de láminas, definición de adhesivos y los tipos de pegamentos existentes, consultar el proyecto de grado del Ing. Ysmael Titirico Condori⁵, debido a que el presente se realizó bajo los mismos fundamentos, pero con diferente tipo de junta longitudinal y proceso constructivo de las probetas, las cuales se explicaran con mayor detalle.

⁵ “Estudio del módulo de elasticidad y resistencia a flexión en maderas laminadas encoladas” – Proyecto de grado: Ing. Ysmael Titirico Condori.

2.2. Juntas Finger

La historia del Finger Joint comenzó con la producción de cajas de madera en los tiempos anteriores a los materiales modernos hechos por el hombre. La junta Finger se hacía originalmente con el corte manual con sierras y cinceles afilados. En los tiempos modernos se hace rápidamente con una sierra de mesa y una plantilla (o accesorio), que puede ser fabricado o comprado. En la actualidad existen maquinas industriales capaces de hacer miles de metros lineales de tablas unidas con la junta Finger, las que al pegarlas por medio de prensas especiales a otras tablas, se logran construir tableros de alta calidad y con apariencia muy agradable como se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2 Junta Finger entre dos piezas, longitudinalmente
Fuente: Tableros y molduras Felix Bermejo

La junta Finger cuya traducción es unión de dedos (también conocido como unión tipo peine) es una técnica para unir maderas que tienen muy buen aspecto de terminación y es muy resistente⁶. Se logra la junta Finger cortando una serie de pequeños recortes complementarios en dos piezas rectangulares de madera como podemos observar en la figura 2.3, las que luego se pegan.

El proceso de empalmado de la junta Finger es uno de los métodos más estables de unión longitudinal de madera. Así la reutilización de retales (sobrantes de madera), y el mejor aprovechamiento de la madera se presenta más simple y rentable. Los ensambles tipo Finger joint permiten unir piezas de madera cortas para obtener una pieza de madera larga que básicamente puede tener una longitud interminable.

⁶Tableros y molduras Felix Bermejo, S.L. TMFB – www.molduras-fbermejo.es



Figura 2.3 Corte con maquinaria (sistema de empalme Finger Joint)
Fuente: Tableros y molduras Felix Bermejo

2.3. Ventajas de la junta Finger

Las ventajas directas e indirectas que puede proporcionar una junta tipo Finger para la fabricación de las maderas laminadas son:

- Uso bajo de materias primas por un rendimiento de madera más grande.
- Uso de maderas de menor calidad o de maderas entresacadas.
- Aumento de la calidad mediante la elaboración de madera encolada.
- Gastos de transporte bajos.
- Calidades sin nudos, optimización del desgaste.
- Mejores propiedades ópticas y técnicas.
- Construcciones de estructuras sólidas.
- Mayor superficie de encolado frente a las juntas tipo espiga ó engrape.

2.4. Desventajas de la junta Finger

- Se requiere de mano de obra especializada para realizar los cortes de la junta Finger (para la manipulación correcta de la maquinaria), en unión longitudinal, así también de maquinaria y condiciones acordes para ello: adhesivos, presión y temperatura requeridos para lograr la unión y endurecimiento de las vigas.
- Es más costoso un elemento MLE que uno de madera normal debido al adhesivo que se emplea y las condiciones necesarias para su elaboración⁷.

⁷ Tableros y molduras Felix Bermejo, S.L. TMFB – www.molduras-fbermejo.es

Las mencionadas ventajas como desventajas influyen de gran manera en la fabricación de piezas de gran sección a través del laminado y encolado de piezas de menor dimensión, en la figura 2.4 se observa una planta de fabricación de vigas curvas, lo que demuestra la versatilidad de este tipo de encolado.



Figura 2.4 Taller de elaboración de vigas de MLE en España (Arriaga, 2004).

Fuente: Instituto de Investigaciones Tecnológicas Celano Jorge Alberto – Jacobo Guillermo José.



CAPÍTULO: III

3. FABRICACIÓN DE MADERA LAMINADA CON JUNTA FINGER

3.1. Reseña histórica.....	(Pág. 23)
3.2. Dimensionamiento de las láminas.....	(Pág. 23)
3.3. Bonificado.....	(Pág. 24)
3.4. Secado.....	(Pág. 24)
3.5. Juntas Finger.....	(Pág. 25)
3.6. Moldurado.....	(Pág. 25)
3.7. Encolado.....	(Pág. 26)
3.8. Prensado.....	(Pág. 27)
3.9. Acabado de las probetas.....	(Pág. 28)

3.1. Reseña Histórica

La historia de este producto refleja la capacidad humana para superar los problemas que surgían a la hora de cubrir grandes longitudes, utilizando piezas rectas o curvas de madera, así como la optimización de su uso. Aunque es difícil establecer su origen, cuyo punto de inflexión lo marca la aparición de los adhesivos estructurales, existen varias referencias históricas. Leonardo Da Vinci (1452 - 1519), en sus esbozos de ingenios militares, dibujaba la utilización de láminas de madera unidas por cuerdas y herrajes metálicos. El arquitecto Filiberto de l’Orme utilizó tablas de madera recortadas de 1,5 a 2,5 metros de longitud y clavadas entre sí en la estructura de madera del Castillo de Mulette (1548).

Desde inicios del siglo XX se utiliza la madera laminada encolada dentro del campo de la construcción. Muchos historiadores de la arquitectura han encontrado obras del siglo XIX que han ejecutado estructuras encoladas, como el caso del King Edward College, en Southampton, Inglaterra, donde se construyó una sala completa con arcos de madera lamina encolada en 1860. A quien se debe la técnica de encolar madera es al carpintero de la corte prusiana Otto Hetzer, quien el 22 de Junio de 1906 obtuvo la primera patente mundial de su invento “el encolado de láminas de madera de tablas para ejecutar vigas y arcos”, el procedimiento de encolado lo realizaba con un producto ligante no afectada por la humedad¹.

3.2. Dimensionamiento de las laminas

La madera laminada y encolada ofrece la ventaja de fabricar elementos estructurales de madera, mucho más grandes que los mismos árboles de los que la madera proviene. En el pasado, era común que los aserraderos tuvieran acceso a árboles de grandes diámetros de los cuales se podían obtener grandes vigas de madera sólida. La tendencia mundial actual, es cosechar árboles de menores diámetros en rotaciones mucho más cortas, por lo que los aserraderos son construidos para trabajar con este tipo de trozas. Mediante la combinación y el encolado de la madera obtenida en estos aserraderos, es posible la producción de elementos estructurales de gran tamaño.

Se corta la madera aserrada procedente del bosque en cuartones de cinco centímetros de espesor. Este proceso se realiza en un aserrío horizontal que realiza los cortes con mucha precisión. Para la elección del espesor del cuartón se tiene en cuenta la optimización de la madera, se recomienda que esta dimensión sea menor a 5cm para obtener un secado en menor tiempo y de mejor calidad.

¹ Madera Laminada Encolada – Por José Alonso Plaza

Es por este motivo que el espesor de las láminas fabricadas serán menores a 5cm y según las dimensiones de las vigas laminadas encoladas para su fabricación se calculara el número de láminas requeridas.

3.3. Bonificado

El proceso de bonificado consiste en seleccionar y desechar los nudos y la madera podrida, lo que permite que este material tenga menos incertidumbre en sus propiedades mecánicas. En el bonificado se descartan los nudos mayores de media pulgada, y se debe garantizar que los nudos restantes no queden en zonas críticas de esfuerzos cortantes y que no queden en la unión dentada.

El bonificado ayuda a evitar nudos y sectores defectuosos para así poder tener mejor resistencia en las vigas laminadas y encoladas, y como la cantidad de piezas no tiene un límite definido más que restricciones de junta entre laminas, se garantiza piezas libres de desperfectos y así obtener un mejor aprovechamiento de la madera original.

3.4. Secado

El secado para la fabricación de madera laminada tiene que ser por métodos artificiales, ya que estos garantizan secados más uniformes y con mejor calidad en tiempos relativamente cortos. Hay que tener especial cuidado con las diferencias de humedades de cada lámina, esta no debe ser superior al 4% entre tablas contiguas. Se debe tener un contenido de humedad que se sitúe dentro de los límites aptos para su encolado. Las láminas deben tener un contenido de humedad menor del 15% para su óptimo funcionamiento. El secado artificial de la madera permite alcanzar este grado de precisión, al ser uno de los aspectos más importantes en el proceso de la madera laminada, ya que de un buen secado se deriva un buen producto. Los beneficios de la madera seca son muchos, pero entre otros los más importantes para el proceso de laminado son:

- Reducción del peso: la madera seca puede pesar entre un 25 % y 50 % menos que en estado verde.
- Estabilidad dimensional: cuando la madera está en la humedad de equilibrio no sufre cambios apreciables en sus dimensiones.
- Resistencia mecánica: cuando el agua libre ha sido eliminada por completo hasta llegar a una humedad cercana al 10 %, variando este valor entre especies, la resistencia mecánica sube aproximadamente un 33 %.
- Beneficios en los adhesivos: con un secado adecuado se obtienen líneas de colas más estables y resistentes al disminuir al mínimo la migración de humedad.

La madera utilizada en la fabricación de vigas laminadas debe ser secada antes de construir la pieza, por lo que los problemas de rajado y otros defectos de secado se minimizan en relación a los defectos de una viga de madera sólida. Esto tiene una doble e importante incidencia en el costo de secado, debido a que reduce el tiempo de secado y reduce el porcentaje de descarte o rechazo.

En la ciudad de La Paz, el promedio de humedad de equilibrio de la madera varía de 10 a 9 %, tal como se muestran en la figura 3.1, a lo largo de los doce meses del año. Para el caso del estudio, los ensayos se realizaran a la humedad equilibrio de la ciudad de La Paz.

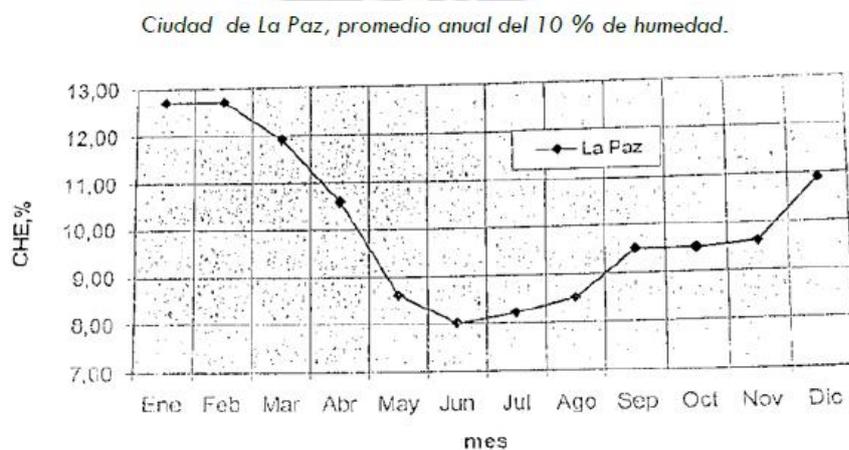


Figura 3.1 Contenido de humedad de equilibrio en la ciudad de La Paz
Fuente: Materiales de Construcción y Laboratorio, CIV-216 UMSA Ing. Jorge Ichazu Cortez

3.5. Juntas Finger

Las láminas de madera se empalman unas con otras mediante un proceso conocido como Finger joints o de uniones dentadas, como se explica en el capítulo 2.2. “Juntas Finger”.

3.6. Moldurado

El cepillado es el proceso de preparación de las láminas para el encolado, este asegura una superficie uniforme que garantice una perfecta adherencia entre las láminas y la cola. Las láminas se deben cepillar con una tolerancia que depende del tipo de cola a utilizar, para la urea formaldehído se tiene una tolerancia de 0,1 mm por metro de largo y 0,2 mm cuando se usa urea resorcinol. No debe pasar un periodo más largo de veinticuatro horas entre cepillada y encolada para evitar la contaminación de la superficie de encolado.

El cepillado comúnmente se lo realiza con una máquina que realiza dicho trabajo cara por cara según el espesor que requiera cepillar. Sin embargo el moldurado consiste en el cepillado de las cuatro caras de las láminas de una sola pasada por la maquina molduradora, delimitando la sección requerida en el sistema de dicha máquina, la cual uniformemente cepilla las diferentes caras y como resultado final se obtiene una lámina con sección rectangular u otra sección programada.

3.7. Encolado

Se agrega adhesivo en las juntas Finger para realizar el encolado transversal, como en las caras superiores de las láminas con un espesor constante de cola que varía de acuerdo con el tipo de pegante. Existen muchos tipos de colas y está condicionada con el uso final de las vigas laminadas. El gramaje a utilizar depende del uso del elemento estructural y del tipo de adhesivo, estos parámetros se especifican en el frasco del pegamento, como se observa en la figura 3.2, además se puede verificar que esta dosis es correcta si al aplicar la presión se nota un leve lagrimeo en las uniones a lo largo de la línea de cola. Un lagrimeo excesivo indica presiones muy altas o dosis muy altas de adhesivos o combinación de ambos factores².



Figura 3.2 Pegamento (cola blanca)
Fuente: Propia

Los diferentes tipos de pegamentos se clasifican por la resistencia, entre los cuales podemos desglosar dos de ellos:

²Ficha Técnica de vigas de madera laminada a flexión – Juan Diego Arbeláez Alzate

- EPI – D4, EPI significa Emulsión de polímero-isocianato, se trata como un producto de dos componentes, cuando se mezcla correctamente, es una de las colas más poderosas en el mundo. Se mantiene la estabilidad dimensional del objeto pegado cuando el contenido de humedad del material cambia. EPI se clasifica como adhesivo D4 que significa uso específico para acción de mojado, con la clasificación más alta para los adhesivos de acuerdo con las normas europeas. Productos ensamblados con EPI no se separan cuando se expone a la humedad. (manufacturer of high quality Wood doors)IROKO.
- D3, Adhesivos a base de polivinilacetato, libre de solventes. La humedad del ambiente y/o de la madera puede retardar el tiempo de prensado. Forma uniones rígidas de alta resistencia sin presentar deterioro en el tiempo. Resiste hasta 80°C.

3.8. Prensado²

Se colocan las pieza con las láminas encoladas en una prensa que aplica presión constante a lo largo de ella; es de vital importancia monitorear las condiciones ambientales ya que los adhesivos son muy sensibles a cambios en la temperatura y humedad. La temperatura óptima del recinto debe ser de 15 °C.

La presión aplicada debe estar por el orden de 1 MPa, dependiendo del tipo de cola utilizado. La presión se aplica al centro de la pieza y avanza simétricamente hacia los extremos. Se debe ejercer de forma uniforme, ya que si no se da esta situación la viga quedará con presiones localizadas, lo que puede generar un decremento significativo en sus propiedades mecánicas.

La presión de prensado depende del espesor de las láminas y del tipo de madera; cuando se usa madera blanda se requiere una presión entre 0,6 y 0,8 MPa para laminas con espesores de 33 mm, mientras que con láminas de 45 mm se requiere entre 0,8 y 1 MPa. Para maderas duras se requiere mínimo 1 MPa. Controlar la presión es muy importante ya que una presión excesiva puede generar lagrimeo excesivo lo que lleva a una línea de cola pobre, y poca presión genera pobre contacto entre las superficies. Es importante lograr niveles más exactos de presión realizando pruebas específicas para la planta de producción.

Se deben almacenar las vigas evitando golpes y flexiones indebidas hasta que se alcance la estabilidad higrométrica de las piezas encoladas. Este almacenaje se debe hacer en un lugar con condiciones de temperatura y humedad controladas. Un mismo elemento estructural puede ser diseñado con diferentes secciones transversales a lo largo de su dimensión longitudinal, dependiendo de la resistencia y rigidez requerida.

²Ficha Técnica de vigas de madera laminada a flexión – Juan Diego Arbeláez Alzate

3.9. Acabado de las probetas

El proceso de acabado final de las probetas nos proporcionara unos elementos de sección uniforme para realizar los ensayos correspondientes. El proceso se lo realiza de igual manera que el cepillado para las láminas, capítulo 3.6. “moldurado”.

Un acabado correctamente realizado nos permite obtener piezas estructurales estéticas, así poder utilizarlas en obras donde los elementos quedan expuestos a la vista del público en general. Además de tener un acabado uniforme, se las debe proteger de los agentes agresivos con barnices u otros.



CAPÍTULO: IV

4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Metodología de trabajo.....	(Pág. 30)
4.2. Madera acopiada para las probetas.....	(Pág. 30)
4.2.1. Madera de barracas.....	(Pág. 31)
4.2.2. Madera de la empresa DB.....	(Pág. 31)
4.3. Secado de la madera.....	(Pág. 32)
4.4. Clasificación de las piezas de madera.....	(Pág. 34)
4.4.1. Ensayo de peso específico.....	(Pág. 34)
4.5. Moldurado de piezas y láminas.....	(Pág. 38)
4.6. Selección de piezas para láminas.....	(Pág. 39)
4.7. Corte y encolado de juntas Finger.....	(Pág. 40)
4.8. Encolado de las juntas y entre láminas.....	(Pág. 41)
4.9. Prensado de láminas.....	(Pág. 44)
4.10. Acarreo y cepillado de las probetas.....	(Pág. 45)
4.11. Control de humedad y traslado de probetas.....	(Pág. 47)
4.12. Ensayo a Flexión.....	(Pág. 49)
4.13. Ensayo a Corte en la línea del adhesivo.....	(Pág. 52)

4.1. Metodología de trabajo.

Para la realización de la investigación se siguieron los siguientes pasos:

- Acopio del material, almacenados en instalaciones de la empresa.
- Selección de las piezas de madera de la empresa DEKMA – BOLIVIA en sus instalaciones.
- Toma de muestras (de cada pieza dos unidades), para su posterior traslado al IEM y ensayo de peso específico.
- Secado de las piezas de ambas procedencias en los hornos de la empresa.
- Moldurado de las piezas a una sección promedio.
- Selección de las piezas en función a su peso específico para la unión entre las mismas con junta Finger.
- Elaboración de las láminas mediante el corte y encolado de la junta transversal (tipo Finger).
- Secado de las láminas en depósitos de la empresa.
- Moldurado de las láminas para la eliminación de restos de pegamento y obtención de superficies uniformes.
- Encolado entre láminas y posterior prensado (la aplicación de los pegamentos se lo realizó en el mismo instante para ambas maderas, debido a que el prensado fue en conjunto para las seis probetas).
- Cepillado de las probetas obtenidas a una sección igual para el total de las probetas de ambas procedencias.
- Traslado de las probetas de la empresa al IEM.
- Realización de los diferentes ensayos posteriormente detallados.
- Toma de núcleos para el ensayo a corte.

4.2. Madera acopiada para las probetas.

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron dos proveedores diferentes de madera, una de barracas, y el otro proveedor fue la empresa DEKMA BOLIVIA (madera de planta), las cuales fueron acopiadas en instalaciones de la empresa mencionada con las que se elaboraron tres probetas por proveedor, como se describe a continuación:

4.2.1. Madera de barracas.

Se adquirieron 24 piezas de madera de sección 4” x 2” provenientes de cuatro diferentes barracas de las especies Mapajo y Bibosi, esto debido a la homogeneidad requerida para la elaboración de las probetas. El acopio de las vigas se la realizo en uno de los galpones de la empresa, donde se tiene los cuidados necesarios para el control de la humedad, y que se muestran en la foto 4.1.



Foto 4.1 Madera de barraca acopiada

4.2.2. Madera de la empresa “DEKMA BOLIVIA”.

La empresa mediante la Ing. Paulet Quiñajo Romero nos proporcionó 38 láminas de longitudes cortas, foto 4.2. A diferencia de la madera de barracas, el de la empresa ya se encontraba acopiado junto a todo su material de trabajo de dicha empresa del cual se extrajo la cantidad ya mencionada, para directamente trasladarlo al horno para su secado. En las foto 4.3, se muestra todo el material con el que cuenta la empresa para la elaboración de sus diferentes productos.



Foto 4.2 Piezas de madera proporcionada por la empresa.



Foto 4.3 Material con el que cuenta la empresa en galpones.

4.3. Secado de la madera.

Debido a que el desarrollo del proyecto se realizó en una industria maderera, se recurrió a los hornos de la empresa para el secado de la madera de ambos proveedores. En la foto 4.4 se observa el acarreo del material en estudio a los hornos.



Foto 4.4 Acarreo de las piezas de madera al horno para su secado.

Se acopió el total de las láminas de madera en el horno por un tiempo aproximado de un mes, como se puede observar en la foto 4.5, por el alto contenido de humedad que presentaban las maderas (un promedio de 64% de humedad), especialmente en la madera de barracas, para obtener una humedad final de 7%. Esta humedad es la referente para la fabricación de puertas, marcos, sócalos, entre otros que se elabora en la empresa, por lo que el control de la humedad de toda la madera de la empresa será al 7%.

Siguiendo la Norma UNE- EN 408, donde se recomienda una humedad entre el 10% - 16% con un promedio de 12%. Ya que en la ciudad de La Paz se cuenta con un clima seco, se trabaja con madera que tenga alrededor del 10% de humedad. Sin embargo por requerimientos del producto final con el que trabaja la empresa utilizamos las piezas de madera con una humedad del 7%.



Foto 4.5 Hornos de grandes dimensiones para el secado de la madera.

Por la gran cantidad de madera que sale y entra a los diferentes hornos, el control de humedad se realiza por bloques ingresados en horarios y fechas diferentes, a través de los encargados de la empresa. Las diferentes piezas de madera se encontraban acopiadas al fondo del horno, lo que no nos permitió realizar un control periódico de las humedades y solo se accedió para su extracción previo control de humedad.

El mencionado control de humedad se lo realiza con un instrumento electrónico: “compuesta por una aguja que ingresa a la madera dando tres golpes con un peso estandarizado para insertar la aguja hasta una marca indicada, con lo cual nos muestra un una pantalla digital, la humedad”, esto se puede observar en la foto 4.6.



Foto 4.6 Instrumento para la medición de humedad en las maderas.

4.4. Clasificación de las piezas de madera.

Según la bibliografía especificada se conoce que la resistencia de la madera es directamente proporcional a su peso específico, es decir, a mayor peso específico mayor será la resistencia.

Se clasificó las piezas de madera de los dos proveedores por la resistencia de las mismas, realizando el ensayo de peso específico. La Norma UNE-EN 408 recomienda situar las láminas de mayor resistencia en los bordes superior e inferior, y los de menor resistencia en la parte central de la probeta, ello se debe a que los esfuerzos de compresión y tracción máximos por flexión se producen en estas fibras.

4.4.1. Ensayo de peso específico.

De cada pieza de madera de ambos proveedores se extrajo dos muestras de dimensiones: (5x5x2)cm, para una correcta ejecución del ensayo el corte se realizó en tres fases:

- Corte transversal de 2cm en los bordes de cada pieza de madera como se muestra en la foto 4.7, marcando cada una de estas con números consecutivos para su identificación al momento del ensayo.
- Corte de la sección de 5x5 cm de forma manual, esta se puede observar en la foto 4.8.
- Eliminación de los bordes astillosos mediante un lijado, para evitar errores en los resultados.



Foto 4.7 Corte transversal de las láminas de madera.



Foto 4.8 Corte de la sección de las probetas.

El procedimiento que se siguió para el ensayo de peso específico fue utilizando la norma PANAMERICANA COPANT es el siguiente:

- a) Obtención del peso de cada probeta, en gramos, en una balanza mostrado en la foto 4.9.



Foto 4.9 Medición del peso de las muestras en gramos.

- b) Para la determinación del volumen de las muestras se recurrió a parafinar cada una de las mismas, así lograr impermeabilizarlas como se observa en la foto 4.10.



Foto 4.10 Parafinado de las muestras.

- c) Obtención del peso de cada muestra con parafina, en gramos.
- d) Se sumerge totalmente las muestras parafinadas en agua, sin tocar el fondo del recipiente, para ello se creó artesanalmente una sujeción de las probetas para que esta pueda flotar con la parte superior totalmente inmersa según la norma, como se puede observar en la foto 4.11.
- e) Se coloca el recipiente con agua sobre la balanza con registro de peso en cero, posteriormente se sumerge las muestras parafinadas y se registra el peso marcado en balanza.



Foto 4.11 Sistema creado para la determinación del volumen de la probeta.

- f) Con el peso específico del agua y el de la parafina se determina el volumen de la probeta, con las siguientes formulas:

$$PE = \frac{Pm}{Vm}$$

$$Vm = (Pmp - Pmpa) - \frac{Pmp - Pm}{Dp}$$

donde:

PE = Peso específico de las probetas en (gr/cc)

Pm = Peso de la muestra en (gr)

Vm = Volumen de la muestra en (cc)

Pmp = Peso de la muestra con parafina en (gr)

Pmpa = Peso de la muestra con parafina sumergida en agua (cc)

Dp = Densidad de la parafina (gr/cc)

Habiendo obtenido mayores valores de peso específico en la madera de barraca respecto a la madera de la empresa, aun siendo su desviación estándar mayor. Los resultados de cada pieza de madera de ambos proveedores se muestran en el ANEXO A.

Según los resultados obtenidos, se prepararon las probetas para el encolado como se muestra en los gráficos 4.1 y 4.2.

- Probetas formadas por piezas de madera de barraca:

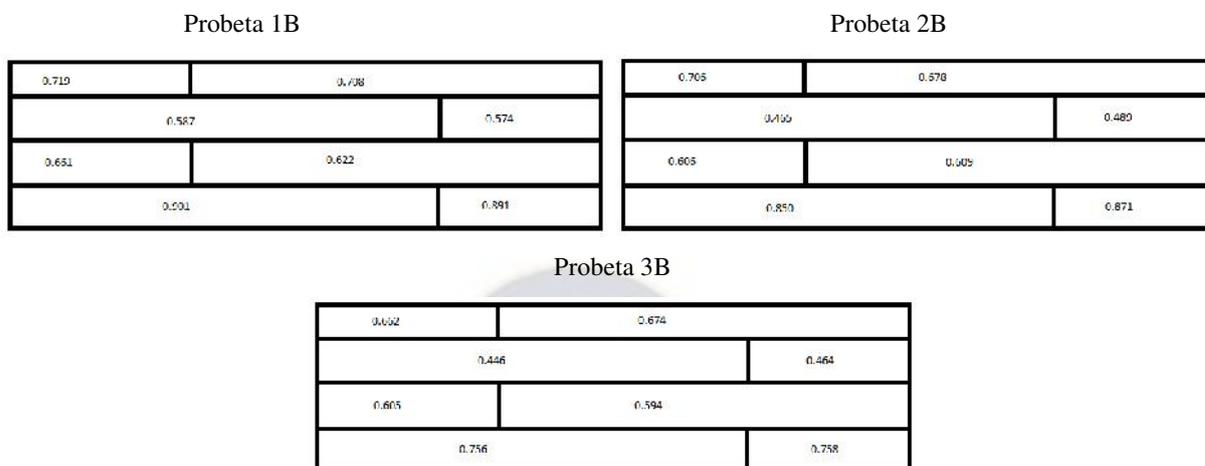


Grafico 4.1 Pesos específicos de las piezas que conforman las probetas de la madera de barracas.

- Probetas formadas por piezas de madera de la empresa:

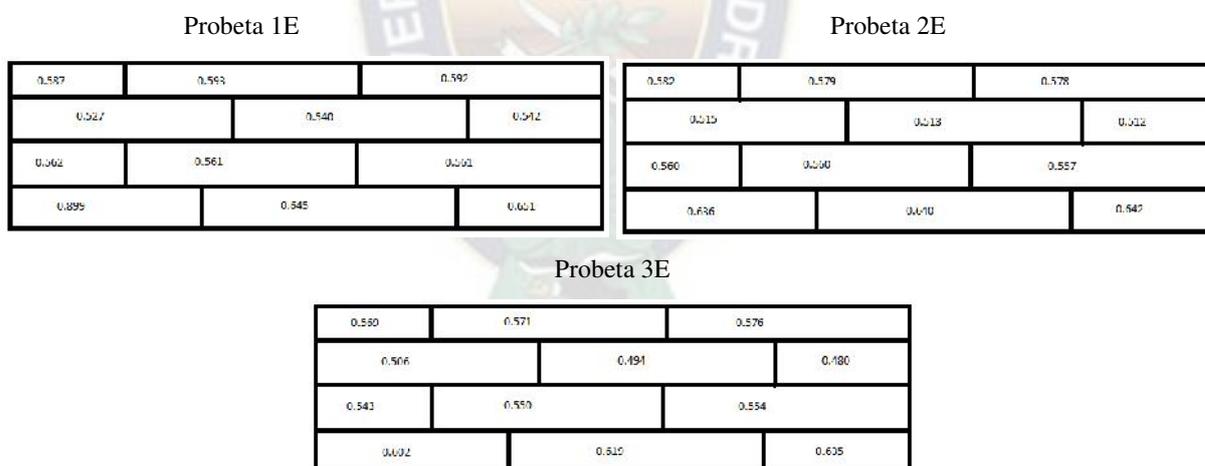


Grafico 4.2 Pesos específicos de las piezas que conforman las probetas de la madera de la empresa.

4.5. Moldurado de piezas y láminas.

Existen dos etapas en las cuales las piezas y las láminas ingresan a la maquina molduradora, en primera instancia todas las piezas de ambos proveedores pasan por la molduladora como se observa en la foto 4.12, la cual está encargada de proporcionar una sección uniforme y las cuatro caras lisas.

Uno de los motivos esenciales para dicho moldurado es la necesidad del mismo para ingresar a la máquina que realiza el corte Finger, dicho proceso se lo explica con mayor detalle en el siguiente inciso. Además de requerir una superficie plana, limpia y uniforme para el encolado entre láminas.



Foto 4.12 Moldurado de las láminas.

Luego de realizado la junta tipo Finger, dando un tiempo prudente para su secado, las láminas pasan nuevamente por la molduradora para conseguir una superficie libre de irregularidades, así estar listas para el encolado longitudinal.

4.6. Selección de piezas para láminas.

Para la formación de las diferentes láminas, se seleccionó las piezas en función a su peso específico como se explicó anteriormente, para lo cual se fue separando las piezas de mayor peso específico para formar las láminas externas y las de menor peso específico para las láminas centrales. Tomando como referencia para su distribución las longitudes de las piezas tal cual se muestra en la foto 4.13, acomodando de tal manera que las juntas transversales no coincidan entre láminas.



Foto 4.13 Distribución de las piezas.

Una vez conformado la distribución de las piezas para cada lámina, estas se las identifican numéricamente de manera que cuando entren a la máquina de corte Finger, se puedan identificar rápidamente para su encolado.

4.7. Corte y encolado de juntas Finger.

Por las características de los productos fabricados por la Empresa DEKMA BOLIVIA, la máquina de corte Finger ofrece ciertas restricciones en cuanto a la longitud de las piezas para su corte con un máximo de 5 pies (1.524 m), esta restricción se puede observar en la foto 4.14, donde las casillas receptoras de las diversas piezas son de dimensiones restringidas. Por lo mismo se optó por dividir las láminas que salían de dicho rango, aprovechando eliminar fallas de nudos y/o fisuras intermedias.



Foto 4.14 Recepción de láminas de madera para el corte Finger (Casillas que restringen la longitud de dichas láminas).

Una vez dispuestas todas las piezas en las casillas receptoras, estas circulan por la máquina mencionada realizando en primera instancia el corte en uno de los lados para posteriormente trasladarse al corte en el otro, con unas cuchillas especiales tal cual se observa en la foto 4.15.



Foto 4.15 Corte transversal de las piezas en la máquina Finger.

4.8. Encolado de las juntas y entre láminas.

Para dicho proceso se utilizaron dos tipos de pegamentos (EPI - D4 proporcionado por la empresa y D3 adquirido del mercado nacional), los cuales se los desarrollaron en el capítulo 3.7.).

El empleo del pegamento D3 para las juntas tipo Finger se la realizó de forma manual como se puede observar en la foto 4.16, para el pegamento EPI – D4 la misma máquina de corte Finger es la encargada de la aplicación del mismo como se muestra en la foto 4.17. En ambos casos se cumplió con las especificaciones de tiempo de espera para la unión y el cubrimiento total de la dentadura de los cortes con el adhesivo.



Foto 4.16 Colocado del adhesivo en las juntas de forma manual.



Foto 4.17 Colocado del adhesivo por la maquina
(solo se puede observar el producto final, pues el proceso ocurre dentro la maquina).

La unión entre piezas puede realizar la misma máquina de manera sucesiva, sin considerar ningún orden establecido, por lo que se optó por realizar este proceso de manera manual debido a que cada lámina tenía un orden específico.



Foto 4.18 Unión entre piezas específicas de forma manual.

El prensado transversal de las láminas para obtener un encolado óptimo entre las juntas se lo realizó con la misma máquina Finger en su etapa final, debido a que la máquina mencionada cuenta con una serie de trabajos de forma secuencial y la última de estas es el prensado longitudinal por un lapso de 10 segundos. Este trabajo se lo puede ver en la foto 4.19.



Foto 4.19 Prensado longitudinal para el encolado de las diferentes juntas.

Posterior al prensado las láminas conformadas pasan a un soporte corredizo para su secado, teniendo como producto final de las láminas las que se observan en la foto 4.20.



Foto 4.20 Producto final del encolado de la junta transversal.

Antes de realizar el encolado entre láminas, estas deben ser molduras para conseguir superficies libres de defectos y lisas como se explicó en el capítulo 4.5.

El encolado entre láminas para la elaboración de las probetas se la realizo de forma manual en ambos casos de pegamento, con la finalidad de cuidar la disposición de las láminas de cada probeta, además de que no coincidan las juntas entre láminas, tal cual nos indica la norma UNE-EN 408. El espesor de pegamento es de aproximadamente 2 mm, el cual se aplicó con una brocha de ida y vuelta para cubrir todos los espacios vacíos y evitar la creación de burbujas de aire que perjudicarían al encolado entre laminas, dicho proceso se puede observar en la foto 4.21.



Foto 4.21 Aplicación del pegamento de forma manual.

4.9. Prensado de láminas.

El prensado de las láminas para la obtención de las probetas como resultado final, se las realizo en una maquina prensadora dispuesta por la empresa, la presión aplicada por dicha máquina nos la proporciona un manómetro como se muestra en la foto 4.22 y 4.23.



Foto 4.22 Manómetro de la maquina prensadora.



Foto 4.23 Prensado de las probetas.

Por las dimensiones de la maquina prensadora, las seis probetas se las colocaron juntas en la máquina para su prensado, la presión ejercida hacia las láminas esta estandarizada para los diferentes elementos con los que trabaja la empresa, siendo esta de 100 bares. El tiempo aproximado de prensado a dicha presión es de 5 horas, esto debido al tiempo requerido por el pegamento para solidificarse, sin embargo se dejó en la prensadora con la maquina apagada por un tiempo de 24 horas para asegurar un buen ligamento entre laminas.

Pasado este tiempo se dispuso a desalojar las probetas de la maquina prensadora como se puede observar en la foto 4.24, posteriormente se inspecciona el correcto encolado entre láminas descartando irregularidades, excesos falencias del adhesivo.



Foto 4.24 Probetas obtenidas posterior al prensado.

4.10. Acarreo y Cepillado de las probetas.

Para la realización de los diferentes ensayos, las probetas deben tener un acabado uniforme en todas las caras, obteniendo una sección uniforme, además se optó por homogeneizar todas las probetas a una misma longitud. Por lo que a las seis probetas se las acarrearón por muchos sectores para su tratamiento, el acarreo de las mismas por el interior de la empresa, se realizó con maquinaria especial (montacargas), como se observa en la foto 4.25.



Foto 4.25 Acarreo de probetas con el montacargas.

La primera máquina a la cual se la transporto, fue la de corte transversal, previa inspección y marcación de la sección de corte, teniendo cuidado que no exista juntas cercanas a los bordes de las probetas, tanto la marcación como el corte se los muestra en la foto 4.26.



Foto 4.26 Corte transversal de las probetas y secciones cortadas de las probetas.

Las seis probetas fueron marcadas por números en la parte transversal, con el fin de tenerlas identificadas hasta el acabado final. Posteriormente se trasladó las probetas a la máquina de cepillado, donde inicialmente por temas de seguridad se retiró los remanentes de pegamento como se observa en la foto 4.27.



Foto 4.27 Enumerado de las probetas y limpieza previa de los bordes.

Por la limitación de las molduradoras en cuanto a sección se refiere, las probetas no se las pudieron introducir a las mismas, por lo cual para lograr caras uniformes, libre de remansos e igual sección para todas las probetas, se recurrió a la cepilladora. Las probetas pasaron cuatro veces por la máquina de cepillado reduciendo milimétricamente la sección de las mismas como se observa en la foto 4.28, hasta lograr superficies lisas y uniformes para todas las probetas.



Foto 4.28 Cepillado de las probetas.

Las dimensiones de acabado de las seis probetas se las muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Dimensiones de las probetas.

Procedencia	N° de Viga	Longitud [mm]	Sección Transversal	
			Base [mm]	Altura [mm]
Barracas	1	3001	79	161
	2	3003	79	160
	3	3002	79	160
Empresa	4	3002	79	160
	5	3000	79	160
	6	3004	79	160

4.11. Control de Humedad y traslado de probetas.

El control de contenido de humedad de las probetas se lo realizo con un instrumento digital dispuesto por la misma empresa, tomando medidas de seguridad en el instrumento, por lo que se lo calibra cada dos meses aproximadamente para evitar errores de medición (dato recabado por personal responsable de la empresa). La descripción del instrumento, las partes del mismo se lo observan en la foto 4.29.

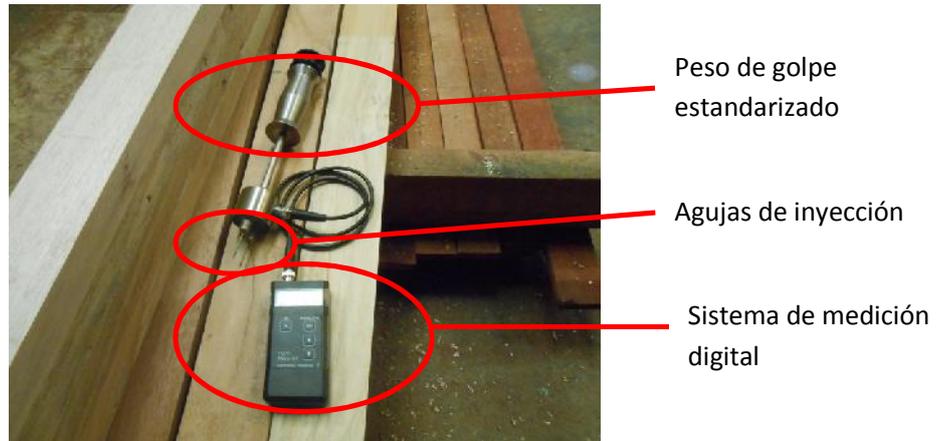


Foto 4.29 Partes del instrumento para medir la humedad (contrapeso, agujas y expositor de resultado digital).

El procedimiento para la medición del contenido de humedad es el siguiente:

- Se introduce las dos agujas con las que cuenta el instrumento con tres golpes con un peso estandarizado, el cual dispone el mismo instrumento en su sistema, hasta una marca indicada.
- Se espera la estabilización del marcador digital para anotar el dato observado.

La medición de contenido de humedad de las seis probetas se las realizó en la misma empresa dando valores menores al 10%, el procedimiento se lo puede observar en las fotos 4.30.



Foto 4.30 Medición del contenido de humedad de las probetas.

Para el traslado de las probetas de las instalaciones de la empresa DEKMA BOLIVIA hacia el laboratorio del Instituto de Ensayo de Materiales (IEM), se tomó todas las precauciones necesarias y establecidas en la Norma, entre las más importantes para mencionar está el clima para el acarreo, evitando lluvias específicamente. También es importante tener cuidado con la posición de las probetas para el transporte, las cuales no deben estar sometidas a esfuerzos innecesarios que puedan afectar los resultados de los diferentes ensayos, por lo que se las transporto en un camión mediano como se observa en la foto 4.31.



Foto 4.31 Acarreo de las probetas.

4.12. Ensayo a Flexión.

Por las especificaciones de la Norma UNE-EN 408 y la luz de las probetas, se procedió a adaptar la prensa universal con dos perfiles metálicos tipo “I”, como se puede observar en la foto 4.32.



Foto 4.32 Prensa Universal para el ensayo a flexión simple y adaptada para la luz de las probetas.

Las separaciones entre los apoyos para la aplicación de la carga por la prensa universal, así como de los apoyos de las probetas que soportan dicha carga, se encuentran especificados en la Norma UNE-EN 408 y que se puede observar en la figura 4.1.

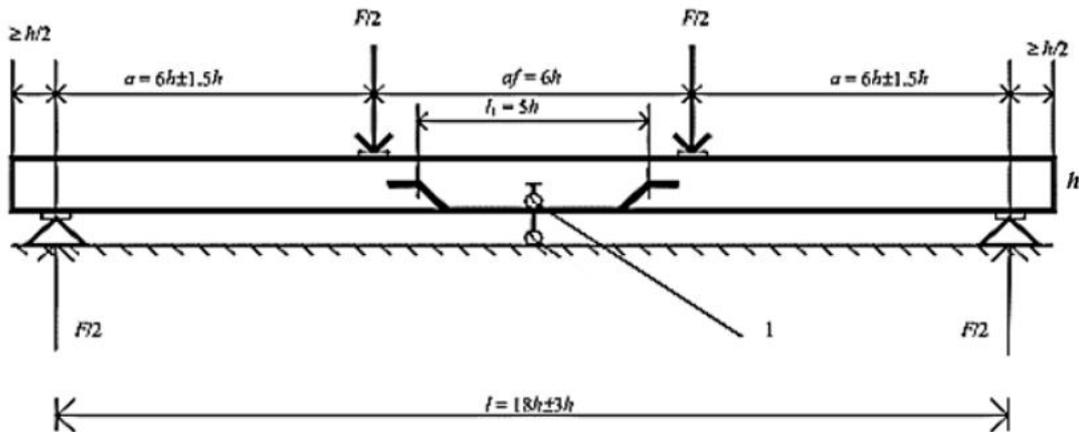


Figura 4.1 Dispositivo de ensayo para la medición del módulo de elasticidad en flexión.
Fuente: Estructuras de Madera (Norma Española UNE-EN 408).

El ensayo para la determinación del módulo de elasticidad y la resistencia a flexión se lo desarrollo aplicando dos cargas puntuales simétricamente dispuestas a una distancia de “5h” entre puntos de aplicación, soportado por dos apoyos en los extremos de las probetas. Se utilizó un extensómetro marca Tinius Tolsen, (ver foto 4.33), con el cual se midió las deformaciones cada 2 KN de carga aplicada a las diferentes probetas, hasta alcanzar la rotura por falla a flexión.



Foto 4.33 Extensómetro sujeto en las probetas.

El extensómetro debe permanecer hasta una carga donde se observaba que las probetas están a punto de fallar, debido a que el extensómetro es de precisión milimétrica, por lo que no soportaría la falla, la cual es brusca, siendo propensa a descalibrarse o inclusive deteriorarse.

Para calcular el módulo de elasticidad en flexión “Em” (MOR) y la resistencia a flexión estática “fm”, se empleó las siguientes ecuaciones:

$$E_m = \frac{al_1^2(F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)}$$

$$f_m = \frac{aF_{max}}{2W}$$

dónde:

a: distancia entre un punto de carga y el apoyo más próximo, en [mm].

l_1 : distancia entre los puntos de aplicación de carga, en [mm].

$F_2 - F_1$: incremento de carga en la parte recta de la curva de carga-deformación, en [N].

I: momento de inercia, [mm⁴].

$w_2 - w_1$: incremento de deformación correspondiente a $F_2 - F_1$, en [mm].

F_{max} : carga máxima, en [N].

W: modulo resistente de la sección, en [mm³].

El incremento de carga así como el incremento de deformación, se obtienen seleccionando la parte recta de la función obtenida para cada probeta, este procedimiento se lo realiza visualmente sobre las funciones calculadas en el **ANEXO B**, un ejemplo del mismo nos hace referencia la figura 4.2.

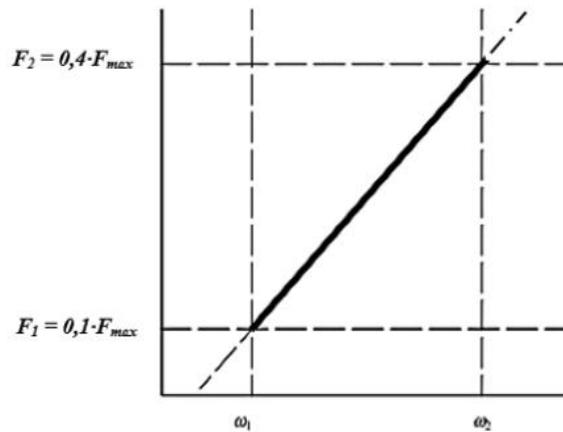


Figura 4.2 Gráfico carga deformación dentro de los márgenes de deformación elástica.
Fuente: Estructuras de Madera (Norma Española UNE-EN 408).

Para el cálculo de la tensión por corte, utilizamos los conceptos de “Resistencia de Materiales”, utilizando la siguiente fórmula para su respectivo cálculo:

$$\tau_m = \frac{3F_{max}}{4bh}$$

dónde:

τ_m : tensión de corte, en $[N/mm^2]$.

F_{max} : carga máxima, en $[N]$.

b : base de la probeta, en $[mm]$.

h : altura de la probeta, en $[mm]$.

4.13. Ensayo a Corte en la línea del adhesivo.

Para la realización del ensayo a corte en la línea del adhesivo, se recurrió a la Norma ASTM D 905-08, tomando en cuenta que se tratan de probetas formadas por varios elementos unidos por juntas Finger, además de la unión entre laminas, es de vital importancia conocer si el pegamento utilizado es el adecuado para la elaboración de vigas estructurales. Por lo mismo los resultados se los comparo con la Norma Chilena NCh 2148.

La norma establece algunos parámetros específicos para la realización del mencionado ensayo, lo cuales podemos enlistarlos:

Humedad de las muestras: Para el contenido de humedad se debe tener en cuenta la recomendación del fabricante del adhesivo, si se carece de este dato se recomienda una humedad del 9 – 12 %.

Tamaño y forma de los especímenes: Las muestras deben ser extraídas en forma de núcleo de las vigas ensayadas, obteniendo probetas con dimensiones de 50x45x19 mm, tal como se muestra la figura 4.3.

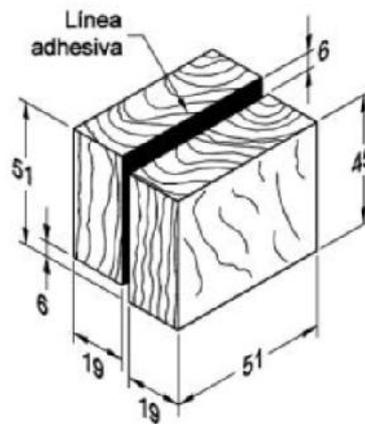


Figura 4.3 Dimensiones de la muestra en mm.
Fuente: Norma ASTM-D-905-08.

En la foto 4.34, se observan las probetas obtenidas que fueron extraídas de las vigas encoladas ensayadas, además del vernier como instrumento de precisión para la medición de sus dimensiones. Claramente se puede ver en las muestras como en la parte central se tiene la línea de adhesivo como indica la Norma.



Foto 4.34 Muestras extraídas de las probetas para el ensayo a corte en la línea del adhesivo.

Cantidad de muestras: En función a lo que menciona la Norma se extrajo tres muestras de cada viga encolada ensayada, teniendo un total de dieciocho probetas a ensayar.

Equipo a utilizar: La Norma recomienda utilizar un equipo de compresión con una capacidad no menor a 6810 Kg (68 KN), que contenga una herramienta de tronzadora con un asiento autoalineador para asegurar la distribución uniforme de la carga. Según la norma, los equipos utilizados en laboratorio se muestra en la figura 4.4 y la foto 4.35.

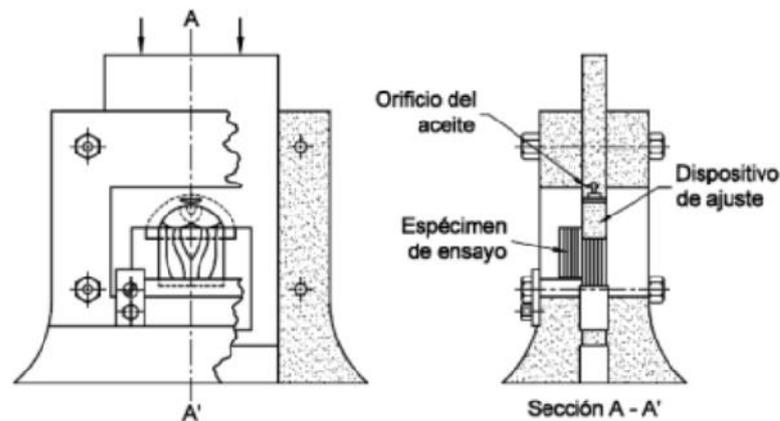


Figura 4.4 Esquema de la máquina para ensayar a corte en la línea de adhesivo.
Fuente: Norma ASTM-D-905-08.



Foto 4.35 Máquinas para el ensayo a corte en la línea del adhesivo.

La carga aplicada en un determinado tiempo hasta producirse la falla, se registra automáticamente en una computadora, además de la gráfica correspondiente a cada ensayo, como se puede observar en la foto 4.36.

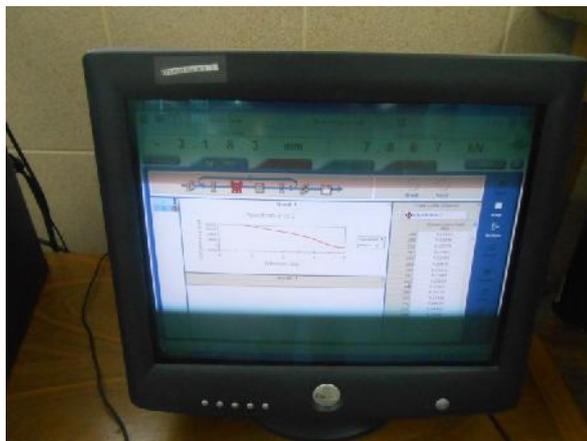


Foto 4.36 Monitor donde se observa la gráfica esfuerzo Vs extensión.

Para el cálculo de la resistencia al corte en la línea del adhesivo, se utiliza la siguiente fórmula:

$$f_v = \frac{F_{max}}{a * h}$$

dónde:

f_v : tensión a corte, en $[N/mm^2]$.

F_{max} : carga máxima, en $[N]$.

a : ancho de la sección con adhesivo, en $[mm]$.

h : altura de la sección con adhesivo, en $[mm]$.

CAPÍTULO: V

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Ensayo de densidad.....	(Pág. 57)
5.2. Ensayo a Flexión.....	(Pág. 58)
5.3. Ensayo de corte en la línea del adhesivo.....	(Pág. 62)
5.4. Comparación de resultados.....	(Pág. 63)

5.1. Ensayo de densidad.

Para la realización del estudio de utilizaron 62 vigas de madera correspondientes a 32 por cada proveedor (barraca y empresa). El número total de muestras ensayadas fue de 124, habiendo tomado dos muestras de cada pieza para ambos proveedores, siendo los resultados finales los que se muestran en la tabla 5.1.

El cálculo para la obtención de los valores mencionados en la tabla 5.1 se los muestra en el ANEXO A.

Tabla 5.1 Pesos específicos de ambos proveedores.

Piezas de madera de barracas	
VALOR MÁXIMO	900,60
VALOR MÍNIMO	445,56
VALOR PROMEDIO	662,27
DESVIACIÓN ESTANDAR	131,53
MEDIANA	661,40
VARIANZA	17300,49
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,20
Piezas de madera de la empresa	
VALOR MÁXIMO	899,45
VALOR MÍNIMO	480,09
VALOR PROMEDIO	580,19
DESVIACIÓN ESTANDAR	69,06
MEDIANA	569,91
VARIANZA	4768,92
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,12

Los pesos específicos promedios para cada probeta, se los puede tabular en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Pesos específicos promedios de cada probeta.

Procedencia	Nº de probeta	Piezas que componen la probeta	PE promedio [Kg/cm ³]
Barracas	1	21, 1, 12, 16, 3, 15, 13, 23 y 24	725,9
	2	6, 9, 7, 18, 20, 14, 4, 22, 23 y 24	671,1
	3	8, 5, 17, 19, 11, 4, 2, 6 y 10	623,5
Empresa	4	5, 31, 29, 12, 33, 10, 2, 1, 37, 23, 25 y 35	565,0
	5	18, 22, 3, 17, 32, 28, 14, 9, 30, 24, 26 y 16	566,0
	6	27, 21, 13, 2, 38, 36, 11, 8, 7, 15, 6 y 34	606,6

5.2. Ensayo a Flexión.

Para el ensayo a flexión se prepararon tres vigas encoladas por cada proveedor, los cuales fueron ensayadas siguiendo el procedimiento descrito en la Norma Española UNE – EN – 408.

Los resultados finales del ensayo a flexión se los muestra a continuación en la tabla 5.3, donde se resume los resultados por probeta.

Tabla 5.3 Resumen de valores del ensayo a flexión.

Probetas con madera de la Barraca							PROPIEDADES MECÁNICAS SIN CORRECCIÓN		
Nº de Probeta	Ancho de Probeta "b" [mm]	Altura de Probeta "h" [mm]	Longitud de Probeta "L" [mm]	Carga de Ruptura "F max" [N]	Deformación teórica "δ max" [mm]	Contenido de humedad [%]	Resistencia a flexión estática "f m" [N/mm ²]	Módulo de elasticidad "E m" [N/mm ²]	Esfuerzo a corte "τ m" [N/mm ²]
V - 1	790	161	3001	42200	4,123	6,7	57,93	14066,00	2,49
V - 2	790	160	3003	25600	2,232	7,1	35,75	16014,84	1,52
V - 3	790	160	3002	53600	6,748	6,4	74,82	11008,57	3,18
VALOR MÁXIMO							74,82	16014,84	3,18
VALOR MÍNIMO							35,75	11008,57	1,52
VALOR PROMEDIO							56,17	13696,47	2,40
DESVIACIÓN ESTANDAR							19,59	2523,51	0,83
MEDIANA							57,93	14066,00	2,49
VARIANZA							383,85	6368103,12	0,70
COEFICIENTE DE VARIACIÓN							0,35	0,18	0,35

Probetas con madera de la Empresa

Nº de Probeta	Ancho de Probeta "b" [mm]	Altura de Probeta "h" [mm]	Longitud de Probeta "L" [mm]	Carga de Ruptura "F max" [N]	Deformación teórica "δ max" [mm]	Contenido de humedad [%]	PROPIEDADES MECÁNICAS SIN CORRECCIÓN		
							Resistencia a flexión estática "f m" [N/mm ²]	Módulo de elasticidad "E m" [N/mm ²]	Esfuerzo a corte "τ m" [N/mm ²]
V - 4	790	160	3002	35300	4,500	7,7	49,27	10890,00	2,09
V - 5	790	160	3000	24500	2,738	7,2	34,16	12445,06	1,45
V - 6	790	160	3004	35500	4,190	6,9	49,61	11721,91	2,11
VALOR MÁXIMO							49,61	12445,06	2,11
VALOR MÍNIMO							34,16	10890,00	1,45
VALOR PROMEDIO							44,35	11685,66	1,88
DESVIACIÓN ESTANDAR							8,82	778,17	0,37
MEDIANA							49,27	11721,91	2,09
VARIANZA							77,83	605543,25	0,14
COEFICIENTE DE VARIACIÓN							0,20	0,07	0,20

A continuación se indicara en que región se produjo la falla inicial de cada viga ensayada.

V – 1: La falla se produjo por flexión en la fibra central, continuando el encolado de dos juntas.

V – 2: La falla se produjo en la fibra inferior por tracción.

V – 3: La falla fue evidente en la fibra central inferior por tracción.

V – 4: La falla se produjo en la madera.

V – 5: La falla se produjo en la madera y el encolado de una junta inferior.

V – 6: La falla se produjo en la madera en forma de estallido.

Todas las fallas se pueden observar en el **ANEXO C**.

En ambos casos (para los dos proveedores), se pueden observar los valores máximo, mínimo y el promedio de la resistencia a flexión, módulo de elasticidad y esfuerzo al corte. Obteniendo mejores resultados con las probetas elaboradas con madera de las barracas.

Sin embargo dichos resultados son valores sin corrección y la Norma UNE-EN 408 nos indica corregir los resultados como se indicara a continuación.

Los resultados de resistencia a flexión se ajustan según:

Dimensiones de la pieza y longitud de ensayo: La resistencia a flexión debe corregirse a un canto de referencia o una anchura de 150mm, dividiendo por:

$$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0.2}$$

Si la longitud de la probeta no esta conforme a la Norma UNE – EN 408, es decir la luz, $l = 18 \cdot h$ y la distancia entre puntos de carga $a_f = 6 \cdot h$, la resistencia a flexión debe corregirse dividiendo por:

$$k_l = \left(\frac{l_{es}}{l_{et}}\right)^{0.2}$$

donde l_{es} y l_{et} se calculan con:

$$l_{es} \text{ ó } l_{et} = l + 5a_f$$

Los resultados del módulo de elasticidad se ajustan según:

Contenido de humedad: En el caso de muestras ensayadas en condiciones distintas a las de referencia, pero con un contenido de humedad medio dentro del intervalo comprendido entre el 10% y el 18%, la corrección para la media al 12% de contenido de humedad es del 2% por cada variación del 1% del contenido de humedad.

Estas correcciones se las presentan en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Corrección de los resultados por altura, longitud y humedad.

Probetas con madera de la Barraca									
Nº de Probeta	Carga de Ruptura "F max" [N]	Deformación teórica "δ max" [mm]	Contenido de humedad [%]	PROPIEDADES MECÁNICAS SIN CORRECCIÓN			PROPIEDADES MECÁNICAS CON CORRECCIÓN		
				Resistencia a flexión estática "f m" [N/mm2]	Módulo de elasticidad "E m" [N/mm2]	Esfuerzo a corte "τ m" [N/mm2]	MOR		MOE
							Corrección por altura de viga "f m"	Corrección por la luz de viga "f m"	Corrección por humedad "E m"
V - 1	42200	4,123	6,7	57,93	14066,00	2,49	58,75	57,84	13320,51
V - 2	25600	2,232	7,1	35,75	16014,84	1,52	36,22	35,72	15230,11
V - 3	53600	6,748	6,4	74,82	11008,57	3,18	75,79	74,74	10392,09
VALOR MÁXIMO				74,82	16014,84	3,18	75,79	74,74	15230,11
VALOR MÍNIMO				35,75	11008,57	1,52	36,22	35,72	10392,09
VALOR PROMEDIO				56,17	13696,47	2,40	56,92	56,10	12980,90
							56,51		
Probetas con madera de la Empresa									
Nº de Probeta	Carga de Ruptura "F max" [N]	Deformación teórica "δ max" [mm]	Contenido de humedad [%]	PROPIEDADES MECÁNICAS SIN CORRECCIÓN			PROPIEDADES MECÁNICAS CON CORRECCIÓN		
				Resistencia a flexión estática "f m" [N/mm2]	Módulo de elasticidad "E m" [N/mm2]	Esfuerzo a corte "τ m" [N/mm2]	MOR		MOE
							Corrección por altura de viga "f m"	Corrección por la luz de viga "f m"	Corrección por humedad "E m"
V - 4	35300	4,500	7,7	49,27	10890,00	2,09	49,91	49,23	10421,73
V - 5	24500	2,738	7,2	34,16	12445,06	1,45	34,61	34,13	11847,70
V - 6	35500	4,190	6,9	49,61	11721,91	2,11	50,25	49,56	11124,09
VALOR MÁXIMO				49,61	12445,06	2,11	50,25	49,56	11847,70
VALOR MÍNIMO				34,16	10890,00	1,45	34,61	34,13	10421,73
VALOR PROMEDIO				44,35	11685,66	1,88	44,92	44,30	11131,17
							44,61		

Posteriormente se determina el valor característico f_k de la resistencia a flexión y del módulo elástico mediante la ecuación:

$$f_k = \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} k_s k_v$$

Estos resultados para las probetas en estudio se presentan en la tabla 5.5 un resumen de los valores característicos.

Tabla 5.5 Valores característicos de probetas de ambos proveedores.

Probetas con madera de la Barraca						
Nº de Probeta	Carga de Ruptura "F max" [N]	Deformación teórica "δ max" [mm]	Contenido de humedad [%]	PROPIEDADES MECÁNICAS CON CORRECCIÓN		
				MOR		MOE
				Corrección por altura de viga "f m"	Corrección por la luz de viga "f m"	Corrección por humedad "E m"
V - 1	42200	4,123	6,7	58,75	57,84	13320,51
V - 2	25600	2,232	7,1	36,22	35,72	15230,11
V - 3	53600	6,748	6,4	75,79	74,74	10392,09
VALOR MÁXIMO				75,79	74,74	15230,11
VALOR MÍNIMO				36,22	35,72	10392,09
VALOR PROMEDIO				56,92	56,10	12980,90
				56,51		
Valor característico 5º percentil de la Resistencia a Flexión "f k"				50,86		
Valor característico 5º percentil del Módulo de Elasticidad "E k"				13050,63		

Probetas con madera de la Empresa						
Nº de Probeta	Carga de Ruptura "F max" [N]	Deformación teórica "δ max" [mm]	Contenido de humedad [%]	PROPIEDADES MECÁNICAS CON CORRECCIÓN		
				MOR		MOE
				Corrección por altura de viga "f m"	Corrección por la luz de viga "f m"	Corrección por humedad "E m"
V - 4	35300	4,500	7,7	49,91	49,23	10421,73
V - 5	24500	2,738	7,2	34,61	34,13	11847,70
V - 6	35500	4,190	6,9	50,25	49,56	11124,09
VALOR MÁXIMO				50,25	49,56	11847,70
VALOR MÍNIMO				34,61	34,13	10421,73
VALOR PROMEDIO				44,92	44,30	11131,17
				44,61		
Valor característico 5º percentil de la Resistencia a Flexión "f k"				40,15		
Valor característico 5º percentil del Módulo de Elasticidad "E k"				11113,94		

Sin embargo la Norma UNE-EN 348 indica que para la obtención del valor característico de la resistencia a flexión, debe cumplir la condición que el cociente entre el valor medio y el menor percentil no sea superior al 1.20, caso contrario se debe redefinir la población estudiada hasta que presente menor variabilidad.

$$\frac{56,51}{50,86} = 1.111 < 1.2 \quad ; \text{cumple!} \quad (\text{barraca})$$

$$\frac{44,61}{40,15} = 1.111 < 1.2 \quad ; \text{cumple!} \quad (\text{barraca})$$

5.3. Ensayo de corte en la sección del adhesivo.

Para la prueba de la unión entre láminas encoladas se tomaron tres probetas de cada viga ensayada, las cuales fueron sometidas al ensayo como se describe en el capítulo 4.13.

Los resultados del mencionado ensayo se los muestra en la tabla 5.6.

Tabla 5.6 Valor obtenidos en el ensayo de corte para ambos proveedores.

Probetas con madera de la Barraca							
Nº	Ancho de línea de Adhesivo "a" [mm]	Altura de línea de Adhesivo "h" [mm]	Área de línea de Adhesivo "A" [mm ²]	Carga Máxima "F máx." [N]	Resistencia "f v" [N/mm ²]	Porcentaje de madera fracturada [%]	Observaciones
1	50,9	51,4	2616,26	7450	2,85	100	falla por línea de adhesivo
2	50,5	47,8	2413,90	11275	4,67	91	falla por línea de adhesivo
3	51,2	49,8	2549,76	11522	4,52	93	falla por fisura en pieza
4	50,9	50,2	2555,18	10140	3,97	100	falla por fisura en pieza
5	50,8	50,1	2545,08	13048	5,13	85	falla por fisura en pieza
6	49,5	50,7	2511,14	13610	5,42	81	falla por fisura en pieza
7	50,3	50,4	2535,12	12725	5,02	87	falla por fisura en pieza
8	49,6	48,2	2390,72	13718	5,74	77	falla por fisura en pieza
9	50,4	50,8	2560,32	14500	5,66	78	falla por fisura en pieza
Valor Máximo					5,74	Porcentaje de falla de la madera	
Valor Mínimo					2,85	Según la Norma NCh 2148 se calcula según las formulas: a) Para los valores individuales: $P\% = 153.3 - 13.3 * f_v$ b) Para los valores promedio: $P\% = 144 - 9 * f_v$	
Promedio					4,77		
Desviación Estándar					0,92		
Coef. de Variación					0,19		
Porcentaje de falla promedio [%]					100		

Probetas con madera de la Empresa

Nº	Ancho de línea de Adhesivo "a" [mm]	Altura de línea de Adhesivo "h" [mm]	Área de línea de Adhesivo "A" [mm ²]	Carga Máxima "F máx." [N]	Resistencia "f v" [N/mm ²]	Porcentaje de madera fracturada [%]	Observaciones
1	49,4	49,6	2450,24	7243	2,96	100	falla por línea de adhesivo
2	49,7	52,3	2599,31	8850	3,40	100	falla por fisura de la pieza
3	49,7	47,4	2355,78	8190	3,48	100	falla por fisura de la pieza
4	50,7	48,3	2448,81	8550	3,49	100	falla por fisura de la pieza
5	52,6	50,1	2635,26	6150	2,33	100	falla por línea de adhesivo
6	51,6	51,1	2636,76	6700	2,54	100	falla por línea de adhesivo
7	51,2	51,1	2616,32	5100	1,95	100	falla por fisura de la pieza
8	49,0	50,5	2474,50	7950	3,21	100	falla por línea de adhesivo
9	51,2	51,2	2621,44	7400	2,82	100	falla por fisura de la pieza
Valor Máximo					3,49	Porcentaje de falla de la madera	
Valor Mínimo					1,95	Según la Norma NCh 2148 se calcula según las	
Promedio					2,91	formulas:	
Desviación Estándar					0,55	a) Para los valores individuales:	
						$P\% = 153.3 - 13.3 * f_v$	
Coef. de Variación					0,19	b) Para los valores promedio:	
						$P\% = 144 - 9 * f_v$	
Porcentaje de falla promedio [%]					100		

5.4. Comparación de resultados.

Las normas Europea y Chilena se basan en la técnica estadística del percentil, donde indica: “Como valor se toma el 5º percentil, que es el que separa los datos de la muestra entre el 5% y el 95% restante, ello indica una probabilidad del 5% de encontrar resistencias o módulos menores”.

- La Norma Chilena, con la cual se realizara la comparación es la NCh 2165, 1991 la cual indica “Las vigas que se diseñan con los valores tabulados y se ensayan de acuerdo a las prescripciones de la norma ASTM D-198 darán resistencias tales que el percentil 5% de exclusión de la muestra formada por estas resistencias, excederá 2.1 veces la tensión básica tabulada”. Esto se puede observar en la tabla 5.7.

Tabla 5.7 Tensiones básicas de MLE en pino radiata según la norma NCh 2165.

Fuente: Norma NCh 2165.

Grado I	Flexión respecto eje X-X				
	Laminación horizontal Carga normal a las caras de las laminas				
	Flexión F b.f MPa	Cizalle F b.c.z MPa	Tracción normal F b.tn MPa	Compresión normal F b.cn MPa	MOE E L.b.x MPa
A	19	1.3	0.43	2.8	11,000
B	19	1.3	0.43	2.8	9,000

$$S_r \geq 2,1F_{b,f}$$

donde:

S_r = Módulo de rotura en las vigas ensayadas del 5% percentil.

$F_{b,f}$ = Resistencia a la flexión admisible de 19 MPa.

entonces:

$$S_r \geq 2,1 * (19)$$

$$S_r \geq 39.90 [N/mm^2]$$

- La Norma Europea toma como base el código técnico de la construcción (Documento Básico SE-M, seguridad estructural, Madera 2006), la cual indica para su clasificación:

La madera laminada encolada, para su uso en estructuras, estará clasificada quedando asignada a una clase resistente. Las clases resistentes son: a) para madera laminada encolada homogénea (GL24h, GL28h, GL32h y GL36h). b) para madera laminada encolada combinada (GL24c, GL28c, GL32c y GL36c).

Los números observados en la tabla 5.8, indican el valor de la resistencia característica a flexión “ $f_{m,g,k}$, en $[N/mm^2]$ ”.

Tabla 5.8 Madera laminada encolada combinada.

Valores de las propiedades asociadas a cada clase resistente.

Fuente: DB SE-M Anexo E.

PROPIEDADES	CLASE RESISTENTE			
	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
RESISTENCIA (N/mm²)				
Flexión	24	28	32	36
Tracción paralela	14	16.5	19.5	22.5
Tracción perpendicular	0.35	0.4	0.45	0.5
Compresión paralela	21	24	26.5	29
Compresión perpendicular	2.4	2.7	3	3.3
Cortante	2.2	2.7	3.2	3.8
RIGIDEZ (kN/mm²)				
Módulo de elasticidad paralelo medio	11.6	12.6	13.7	14.7
Módulo de elasticidad paralelo 5°-percentil	9.4	10.2	11.1	11.9
Módulo de elasticidad perpendicular medio	0.32	0.39	0.42	0.46
Módulo transversal medio	0.59	0.72	0.78	0.85
DENSIDAD (Kg/m³)				
Densidad característica	350	380	410	430

- El proyecto de grado del ingeniero Ysmael Titirico Condori, proporciona resultados de la resistencia a flexión como modulo elástico para probetas basadas en las mismas Normas del presente proyecto, por lo cual es de vital importancia la comparación entre los resultados entre ambas investigaciones.

Todos estos resultados se los muestra en la tabla 5.9, donde se resumen los valores característicos de la Norma Chilena, Norma Europea y Proyecto del Ing. Ysmael Titirico Condori.

Tabla 5.9 Cuadro comparativo de los esfuerzos.

VALORES CARACTERISTICOS	Norma Chilena	Norma Europea	Proyecto Ing. Ysmael Titirico C.	Probetas ensayadas (Barracas)	Probetas ensayadas (Empresa)
Módulo de Rotura "MOR" [N/mm ²]	40	36	41,2	50,9	40,2
Módulo Elástico "MOE" [N/mm ²]	11000	11900	12980,58	13050,63	11113,94

Así mismo se muestra en una gráfica los valores de la tabla 5.9:

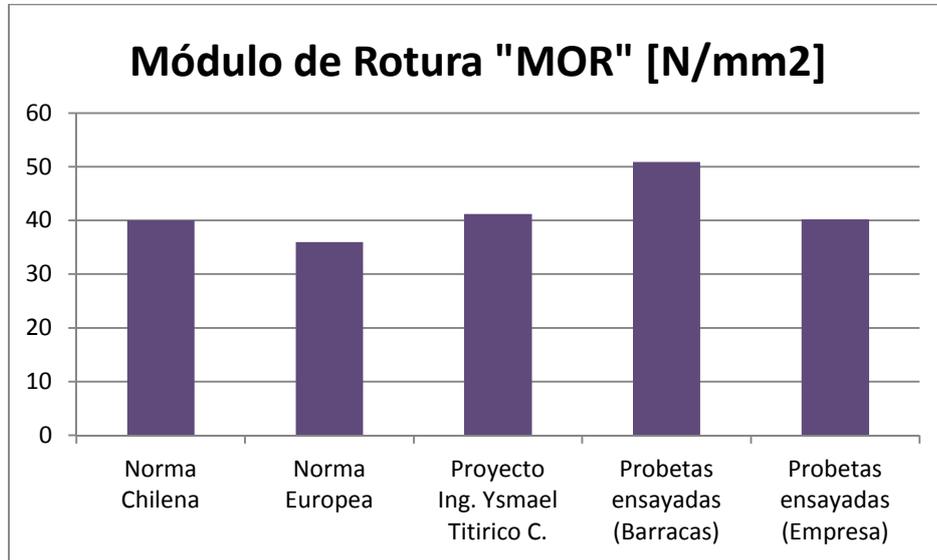


Grafico 5.1 Comparación entre valores del Módulo de Rotura.

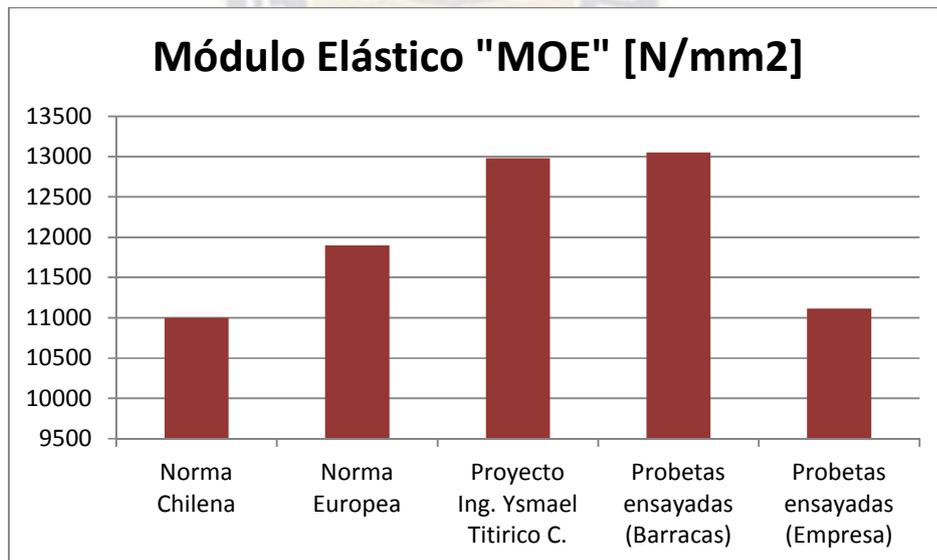
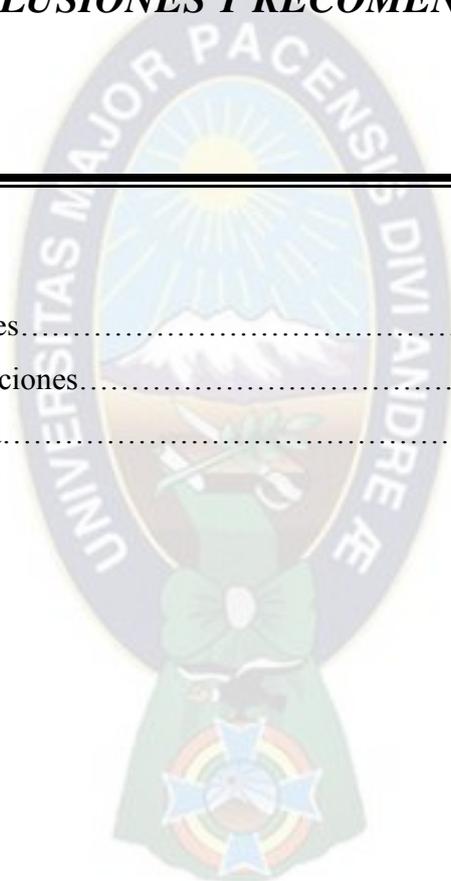


Grafico 5.2 Comparación entre valores del Módulo Elástico.

CAPÍTULO: VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.	Conclusiones.....	(Pág. 68)
6.2.	Recomendaciones.....	(Pág. 69)
6.3.	Bibliografía.....	(Pág. 70)



6.1. Conclusiones.

Con los ensayos realizados en el IEM a las seis vigas, se obtuvo los valores de los esfuerzos y deformaciones hasta la rotura, con los cuales a través de la aplicación de fórmulas establecidas en las diferentes Normas, se calculó el módulo de elasticidad (MOE) y la resistencia a flexión (MOR) de manera óptima, esto se puede observar en el **ANEXO D**.

La empresa DEKMA BOLIVIA puso a disposición sus máquinas y personal calificado de manera ilimitada, para la realización de todos los trabajos en la elaboración de las probetas, con el manipuleo de las maquinas bajo su personal, pero con nuestra dirección, obteniendo finalmente probetas correctamente elaboradas y estéticas.

El contenido de humedad de las piezas no se lo obtuvo a través de ensayos en laboratorio, sin embargo el mecanismo desarrollado (capítulo 4.11), nos proporcionó un control de la humedad muy aceptable, debido a que la empresa opta por este mecanismo. A diferencia del peso específico, el cual si se lo obtuvo en el laboratorio del IEM, utilizando un método según la Norma COPANT en el cual no influye la humedad de las piezas.

Del ensayo a corte en la línea del adhesivo se puede indicar que en la mayoría de los casos la falla se produjo en la madera (ver tabla 5.6) y para ambos promovedores de la madera, no obstante habiendo utilizado diferentes pegamentos. Pero los preparados con madera proveniente de barraca MB fueron mayores en un 64% frente a los elaborados con ME, aunque su desviación estándar es mayor y posiblemente ello se deba a que las maderas de la empresa son del mismo tipo.

Del análisis del grafico 5.1 se tiene que la resistencia a flexión (MOR) de las MB resultan superiores a las ME en un 26%, pero estas últimas son parecidas a las obtenidas por el Ing. Ysmael Titirico Condori, la norma chilena y un poco superiores a las dadas por la norma europea.

Respecto al módulo elástico se tiene que las probetas de MB tienen un módulo elástico mayor en un 17% respecto a las (ME) ver gráfico 5.2, comparando la primera con la del Ing. Ysmael Titirico Condori son casi parecidas, mientras que las ME son semejantes a las dadas por las normas chilena y europea.

Como se mencionó el capítulo 5.2 del ensayo a flexión las fallas en la mayor parte de las probetas se presentaron en la junta del encolado, además de la madera, en muy pocos casos se produjo la falla en la unión entre laminas (junta Finger), ello quiere decir que la unión dentada (utilizada en el proyecto de grado del Ing. Ysmael Titirico Condori) y la tipo Finger (usada en el presente estudio) no tienen influencia en la resistencia a flexión y en el módulo elástico, aunque un mejor acabado se tiene con las uniones tipo Finger.

6.2. Recomendaciones

La recolección de las piezas de madera de barracas fue de manera aleatoria, por lo que se recomienda tener cuidado en la elección de las mismas, en cuanto a fisuras longitudinales, nudos, etc. para poder obtener mejores resultados en sus propiedades mecánicas.

Es recomendable realizar un control rutinario del secado de las piezas en el horno. Posterior a este trabajo se debe acopiar las piezas en un ambiente con un control sobre los agentes externos.

La máquina Finger, realiza un trabajo completo, desde la recepción de las piezas, entregando como producto final laminas con juntas transversales y longitud definidas, por lo que es recomendable si se desea una fabricación de elementos estructurales a gran escala se debe tener cuidado con la materia prima, debiendo ser en lo posible esta uniforme (la variación del peso específico entre piezas no debe tener una gran variación).

La máquina dispuesta para el prensado esta estandarizada a una presión específica, por lo que es recomendable ajustar dicha presión para observar la afeción en las resistencias mecánicas.

Se recomienda elementos estructurales de madera laminada encolada para la aplicación en obras civiles con solicitaciones considerables, por sus características de resistencia obtenidas y por el impacto positivo visual que propone dichos elementos.

Cuando se tenga madera de diferentes tipos vale la pena colocar las más resistentes en las fibras externas y en forma decreciente hacia el interior.

El prensado para el encolado debe ser lo más uniforme posible de ahí es conveniente utilizar la metodología de la empresa.

Se debe efectuar un control de calidad de las vigas utilizadas en la construcción, para poder corregir el diseño.

6.3. Bibliografía

Se recurrió a normas referentes al proyecto, entre las que podemos mencionar:

- UNE-EN 408: 1996 Estructuras de Madera - Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Abril 1996.
- UNE-EN 789: Determinación de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la madera.
- UNE-EN 384: 2004 Madera Estructural – Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. Mayo 2004.
- UNE-EN 391: 1995. Ensayo de determinación de la línea del adhesivo.
- UNE-EN 392: 1995. Ensayo de resistencia a cortante en las líneas del adhesivo.
- UNE-EN 301: 2007. Clasificación y requisitos de comportamiento de los adhesivos estructurales bajo condiciones climáticas.
- UNE-EN 386: 1995. Madera laminada encolada, requisitos de fabricación especificaciones y requisitos mínimos de fabricación.
- COPANT: Norma Panamericana COPANT, método de determinación del peso específico aparente.
- ASTM-D 905-08: Ensayo de corte de línea del adhesivo.
- NCh 2150.Of89: 1991 Madera laminada encolada – Clasificación mecánica y visual de madera aserrada de pino radiata. Modificada en 1991.
- NCh 2165 Of9: 1991. Tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de pino radiata.
- NCh 2148. 2013. Madera laminada estructural, madera 2006. España

Entre otros documentos como libros, artículos y otros, se recurrió a los siguientes:

- Proyecto de Grado; “Estudio del módulo de elasticidad y resistencia a flexión en maderas laminadas encoladas”. Por el Ing. Ysmael Titirico Condori.
- DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE DISEÑO DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS DE TECA (Tectona Grandis) Y ADHESIVO MDI. Revista Forestal Venezolana 51(2) 2007, pp. 231-242.
- ESPECIES DE MADERA EN BOLIVIA. www.BOLIVIANLAND.net.
- LA MADERA LAMINADA: Una Alternativa Estructural y Ambiental. Por: Jorge Augusto Barrera – Periodista M&M.
- Obras con Estructura de Madera Laminada. Fuente: Pro materiales.

- Producción de maderas laminadas encoladas como elementos constructivos. Instituto de Investigaciones Tecnológicas para el Diseño Ambiental de Hábitat Humano. Por: Celano, Jorge Alberto – Jacobo, Guillermo Jose.
- Propiedades Mecánicas y Resistencia de Uniones Encoladas de Vigas Laminadas. Por: Ing. Arg. OF Alvaro Perez del Castillo. LATU-JICA (1998-2003).
- Sistema de empalmado Finger joint. Grecon. Por: GRUPO WEINIG.
- UNIONES TIPO FINGER-JOINT. Por: TABLEROS Y MOLDURAS FELIX BERMEJO, S.L.
- VIGAS LAMINADAS ESTRUCTURALES DE MADERA, SU FABRICACIÓN Y EMPLEO. Por: Arq. Miguel L.V. Demkoff. Concordia, Octubre de 2003.

CAPÍTULO: VII

7. ANEXOS

ANEXO A: Ensayo de Peso Específico de las maderas.....	(Pág. 74)
ANEXO B: Ajuste de curvas mediante regresión lineal.....	(Pág. 81)
ANEXO C: Ensayos a flexión de las probetas.....	(Pág. 94)
ANEXO D: Resumen de las resistencias a flexión.....	(Pág. 101)
ANEXO E: Comparación con Normas e Inv. Previas.....	(Pág. 105)
ANEXO F: Ensayo de tensión de corte en la línea del Adhesivo	(Pág. 107)

ANEXO A:

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LAS MADERAS

DENSIDAD DE MADERAS OBTENIDAS EN BARRACAS

MUESTRA	Muestra húmeda "Pm" en gr.	Muestra + parafina "Pmp" en gr.	Peso parafina "Pp" en gr.	Densidad parafina "Dp" en gr/cm ³	Volumen parafina "Vp" en cm ³	Sujetador + muestra con parafina en agua "Pmpa" en gr.	Peso sujetador en agua "Psa" en gr.	Muestra con parafina en agua "Pmpa" en gr.	Volumen muestra con parafina "Vmp" en cm ³	Volumen muestra "Vm" en cm ³	Densidad muestra "Dm" en gr/cm ³
	DATO	DATO	Pp=Pmp-Pm	DATO	Vp=Pp/Dp	DATO	DATO	Pmpa=Pmpa-Psa	Vmp=Pmp-Pmpa	Vm=Vmp-Vp	Dm=Pm/Vm
1a	35,20	37,78	2,58	0,91	2,83	53,73	1,20	52,53	52,53	49,70	0,708
1b	33,83	36,38	2,55	0,91	2,80	51,77	1,20	50,57	50,57	47,77	0,708
2a	29,35	31,75	2,40	0,91	2,63	52,19	1,20	50,99	50,99	48,36	0,607
2b	34,36	37,43	3,07	0,91	3,37	61,47	1,20	60,27	60,27	56,90	0,604
3a	28,45	31,11	2,66	0,91	2,92	53,97	1,20	52,77	52,77	49,85	0,571
3b	33,67	36,60	2,93	0,91	3,21	62,83	1,20	61,63	61,63	58,42	0,576
4a	28,33	32,69	4,36	0,91	4,78	53,07	1,20	51,87	51,87	47,09	0,602
4b	28,01	30,82	2,81	0,91	3,08	50,24	1,20	49,04	49,04	45,96	0,609
5a	38,21	41,85	3,64	0,91	3,99	59,34	1,20	58,14	58,14	54,15	0,706
5b	34,75	38,22	3,47	0,91	3,80	54,19	1,20	52,99	52,99	49,19	0,707
6a	33,74	37,58	3,84	0,91	4,21	62,05	1,20	60,85	60,85	56,64	0,596
6b	35,54	39,08	3,54	0,91	3,88	65,18	1,20	63,98	63,98	60,10	0,591
7a	33,48	37,40	3,92	0,91	4,30	55,18	1,20	53,98	53,98	49,68	0,674
7b	31,55	35,12	3,57	0,91	3,91	53,60	1,20	52,40	52,40	48,49	0,651
8a	38,11	42,47	4,36	0,91	4,78	62,08	1,20	60,88	60,88	56,10	0,679
8b	35,85	40,06	4,21	0,91	4,62	58,83	1,20	57,63	57,63	53,01	0,676
9a	37,60	42,12	4,52	0,91	4,96	61,85	1,20	60,65	60,65	55,69	0,675
9b	33,00	36,76	3,76	0,91	4,12	54,31	1,20	53,11	53,11	48,99	0,674
10a	37,77	42,08	4,31	0,91	4,73	55,67	1,20	54,47	54,47	49,74	0,759
10b	38,95	43,08	4,13	0,91	4,53	57,50	1,20	56,30	56,30	51,77	0,752
11a	35,59	40,86	5,27	0,91	5,78	54,09	1,20	52,89	52,89	47,11	0,755
11b	39,33	43,23	3,90	0,91	4,28	57,25	1,20	56,05	56,05	51,77	0,760
12a	35,62	40,70	5,08	0,91	5,57	55,96	1,20	54,76	54,76	49,19	0,724
12b	39,27	44,29	5,02	0,91	5,50	61,64	1,20	60,44	60,44	54,94	0,715
13a	34,54	39,30	4,76	0,91	5,22	58,82	1,20	57,62	57,62	52,40	0,659
13b	35,70	40,59	4,89	0,91	5,36	60,50	1,20	59,30	59,30	53,94	0,662
14a	32,51	37,67	5,16	0,91	5,66	60,97	1,20	59,77	59,77	54,11	0,601
14b	30,94	34,97	4,03	0,91	4,42	55,71	1,20	54,51	54,51	50,09	0,618
15a	29,36	33,35	3,99	0,91	4,38	52,46	1,20	51,26	51,26	46,89	0,626
15b	31,22	35,03	3,81	0,91	4,18	55,84	1,20	54,64	54,64	50,46	0,619
16a	30,10	34,44	4,34	0,91	4,76	58,02	1,20	56,82	56,82	52,06	0,578
16b	31,00	34,08	3,08	0,91	3,38	56,61	1,20	55,41	55,41	52,03	0,596

“Estudio del módulo de elasticidad y resistencia a flexión en maderas laminadas con juntas Finger y encoladas”

17a	23,81	27,66	3,85	0,91	4,22	59,57	1,20	58,37	58,37	54,15	0,440
17b	22,43	27,30	4,87	0,91	5,34	56,23	1,20	55,03	55,03	49,69	0,451
18a	23,51	27,64	4,13	0,91	4,53	56,44	1,20	55,24	55,24	50,71	0,464
18b	23,20	25,92	2,72	0,91	2,98	54,00	1,20	52,80	52,80	49,82	0,466
19a	20,78	24,56	3,78	0,91	4,14	49,92	1,20	48,72	48,72	44,58	0,466
19b	24,61	29,78	5,17	0,91	5,67	60,17	1,20	58,97	58,97	53,30	0,462
20a	28,47	32,37	3,90	0,91	4,28	61,82	1,20	60,62	60,62	56,34	0,505
20b	25,16	28,55	3,39	0,91	3,72	58,13	1,20	56,93	56,93	53,21	0,473
21a	49,78	54,09	4,31	0,91	4,73	61,08	1,20	59,88	59,88	55,15	0,903
21b	49,66	54,52	4,86	0,91	5,33	61,79	1,20	60,59	60,59	55,26	0,899
22a	39,37	42,37	3,00	0,91	3,29	51,04	1,20	49,84	49,84	46,55	0,846
22b	49,76	55,17	5,41	0,91	5,93	65,34	1,20	64,14	64,14	58,21	0,855
23a	43,34	48,37	5,03	0,91	5,52	55,33	1,20	54,13	54,13	48,61	0,892
23b	41,44	46,08	4,64	0,91	5,09	52,82	1,20	51,62	51,62	46,53	0,891
24a	40,03	42,77	2,74	0,91	3,00	50,09	1,20	48,89	48,89	45,89	0,872
24b	41,55	47,47	5,92	0,91	6,49	55,51	1,20	54,31	54,31	47,82	0,869

DENSIDAD DE MADERAS OBTENIDAS EN LA EMPRESA

MUESTRA	Muestra húmeda "Pm" en gr.	Muestra + parafina "Pmp" en gr.	Peso parafina "Pp" en gr.	Densidad parafina "Dp" en gr/cm ³	Volumen parafina "Vp" en cm ³	Sujetador + muestra con parafina en agua "Psmppa" en gr.	Peso sujetador en agua "Psa" en gr.	Muestra con parafina en agua "Pmpa" en gr.	Volumen muestra con parafina "Vmp" en cm ³	Volumen muestra "Vm" en cm ³	Densidad muestra "Dm" en gr/cm ³
	DATO	DATO	Pp= Pmp-Pm	DATO	Vp=Pp/Dp	DATO	DATO	Pmpa= Psmppa-Psa	Vmp= Pmp-Pmpa	Vm= Vmp-Vp	Dm= Pm/Vm
1a	23,02	24,37	1,35	0,91	1,48	44,06	1,20	42,86	42,86	41,38	0,556
1b	24,01	26,89	2,88	0,91	3,16	46,74	1,20	45,54	45,54	42,38	0,567
2a	23,58	25,50	1,92	0,91	2,11	45,32	1,20	44,12	44,12	42,01	0,561
2b	23,72	26,76	3,04	0,91	3,33	46,85	1,20	45,65	45,65	42,32	0,561
3a	26,39	28,45	2,06	0,91	2,26	49,16	1,20	47,96	47,96	45,70	0,577
3b	25,30	29,32	4,02	0,91	4,41	49,25	1,20	48,05	48,05	43,64	0,580
4a	22,98	25,03	2,05	0,91	2,25	48,04	1,20	46,84	46,84	44,59	0,515
4b	18,58	21,34	2,76	0,91	3,03	41,64	1,20	40,44	40,44	37,41	0,497
5a	24,57	26,55	1,98	0,91	2,17	45,83	1,20	44,63	44,63	42,46	0,579
5b	26,41	28,36	1,95	0,91	2,14	47,74	1,20	46,54	46,54	44,40	0,595
6a	29,21	31,52	2,31	0,91	2,53	49,07	1,20	47,87	47,87	45,34	0,644
6b	28,79	33,68	4,89	0,91	5,36	51,16	1,20	49,96	49,96	44,60	0,646
7a	24,26	26,41	2,15	0,91	2,36	47,26	1,20	46,06	46,06	43,70	0,555
7b	23,89	27,25	3,36	0,91	3,68	48,07	1,20	46,87	46,87	43,19	0,553

“Estudio del módulo de elasticidad y resistencia a flexión en maderas laminadas con juntas Finger y encoladas”

8a	24,52	26,74	2,22	0,91	2,43	47,92	1,20	46,72	46,72	44,29	0,554
8b	23,87	28,16	4,29	0,91	4,70	49,66	1,20	48,46	48,46	43,76	0,546
9a	25,16	27,61	2,45	0,91	2,69	49,27	1,20	48,07	48,07	45,38	0,554
9b	25,96	30,26	4,30	0,91	4,71	52,34	1,20	51,14	51,14	46,43	0,559
10a	23,24	25,62	2,38	0,91	2,61	48,09	1,20	46,89	46,89	44,28	0,525
10b	24,80	28,99	4,19	0,91	4,59	52,66	1,20	51,46	51,46	46,87	0,529
11a	28,56	31,30	2,74	0,91	3,00	50,14	1,20	48,94	48,94	45,94	0,622
11b	26,23	34,08	7,85	0,91	8,61	52,42	1,20	51,22	51,22	42,61	0,616
12a	25,01	27,46	2,45	0,91	2,69	50,26	1,20	49,06	49,06	46,37	0,539
12b	25,12	29,66	4,54	0,91	4,98	52,36	1,20	51,16	51,16	46,18	0,544
13a	21,93	24,44	2,51	0,91	2,75	49,53	1,20	48,33	48,33	45,58	0,481
13b	21,71	26,57	4,86	0,91	5,33	51,85	1,20	50,65	50,65	45,32	0,479
14a	23,46	26,06	2,60	0,91	2,85	49,69	1,20	48,49	48,49	45,64	0,514
14b	22,97	27,67	4,70	0,91	5,15	51,34	1,20	50,14	50,14	44,99	0,511
15a	29,25	32,66	3,41	0,91	3,74	50,26	1,20	49,06	49,06	45,32	0,645
15b	28,18	32,33	4,15	0,91	4,55	49,89	1,20	48,69	48,69	44,14	0,638
16a	27,97	31,77	3,80	0,91	4,17	51,60	1,20	50,40	50,40	46,23	0,605
16b	26,98	31,63	4,65	0,91	5,10	51,41	1,20	50,21	50,21	45,11	0,598
17a	23,39	25,35	1,96	0,91	2,15	45,99	1,20	44,79	44,79	42,64	0,549
17b	24,71	29,14	4,43	0,91	4,86	52,06	1,20	50,86	50,86	46,00	0,537
18a	26,65	28,86	2,21	0,91	2,42	49,25	1,20	48,05	48,05	45,63	0,584
18b	24,20	27,65	3,45	0,91	3,78	47,31	1,20	46,11	46,11	42,33	0,572
19a	30,61	32,63	2,02	0,91	2,21	50,71	1,20	49,51	49,51	47,30	0,647
19b	28,92	31,30	2,38	0,91	2,61	48,04	1,20	46,84	46,84	44,23	0,654
20a	27,47	29,63	2,16	0,91	2,37	48,39	1,20	47,19	47,19	44,82	0,613
20b	27,56	30,50	2,94	0,91	3,22	51,44	1,20	50,24	50,24	47,02	0,586
21a	22,52	24,59	2,07	0,91	2,27	48,69	1,20	47,49	47,49	45,22	0,498
21b	22,55	25,81	3,26	0,91	3,57	50,77	1,20	49,57	49,57	46,00	0,490
22a	27,30	29,72	2,42	0,91	2,65	50,80	1,20	49,60	49,60	46,95	0,582
22b	26,45	29,02	2,57	0,91	2,82	49,47	1,20	48,27	48,27	45,45	0,582
23a	26,65	29,03	2,38	0,91	2,61	50,23	1,20	49,03	49,03	46,42	0,574
23b	25,36	28,16	2,80	0,91	3,07	48,13	1,20	46,93	46,93	43,86	0,578
24a	27,14	29,60	2,46	0,91	2,70	47,62	1,20	46,42	46,42	43,72	0,621
24b	27,43	30,17	2,74	0,91	3,00	48,87	1,20	47,67	47,67	44,67	0,614
25a	26,55	29,14	2,59	0,91	2,84	50,38	1,20	49,18	49,18	46,34	0,573
25b	26,44	29,19	2,75	0,91	3,02	50,69	1,20	49,49	49,49	46,47	0,569
26a	29,21	32,22	3,01	0,91	3,30	50,45	1,20	49,25	49,25	45,95	0,636
26b	29,01	32,06	3,05	0,91	3,34	50,28	1,20	49,08	49,08	45,74	0,634
27a	24,07	26,59	2,52	0,91	2,76	47,16	1,20	45,96	45,96	43,20	0,557
27b	25,48	30,10	4,62	0,91	5,07	51,55	1,20	50,35	50,35	45,28	0,563
28a	22,08	25,32	3,24	0,91	3,55	47,51	1,20	46,31	46,31	42,76	0,516

“Estudio del módulo de elasticidad y resistencia a flexión en maderas laminadas con juntas Finger y encoladas”

28b	23,44	26,20	2,76	0,91	3,03	50,16	1,20	48,96	48,96	45,93	0,510
29a	27,36	30,47	3,11	0,91	3,41	50,98	1,20	49,78	49,78	46,37	0,590
29b	27,43	30,53	3,10	0,91	3,40	50,71	1,20	49,51	49,51	46,11	0,595
30a	25,42	29,26	3,84	0,91	4,21	50,99	1,20	49,79	49,79	45,58	0,558
30b	23,29	26,06	2,77	0,91	3,04	45,70	1,20	44,50	44,50	41,46	0,562
31a	26,61	30,08	3,47	0,91	3,80	49,87	1,20	48,67	48,67	44,87	0,593
31b	27,44	31,94	4,50	0,91	4,93	52,49	1,20	51,29	51,29	46,36	0,592
32a	22,66	27,48	4,82	0,91	5,29	50,73	1,20	49,53	49,53	44,24	0,512
32b	23,56	27,08	3,52	0,91	3,86	50,54	1,20	49,34	49,34	45,48	0,518
33a	24,95	29,48	4,53	0,91	4,97	52,20	1,20	51,00	51,00	46,03	0,542
33b	24,73	27,92	3,19	0,91	3,50	50,72	1,20	49,52	49,52	46,02	0,537
34a	40,26	44,15	3,89	0,91	4,27	50,35	1,20	49,15	49,15	44,88	0,897
34b	38,99	45,01	6,02	0,91	6,60	51,03	1,20	49,83	49,83	43,23	0,902
35a	26,49	32,81	6,32	0,91	6,93	54,45	1,20	53,25	53,25	46,32	0,572
35b	26,08	28,93	2,85	0,91	3,13	50,41	1,20	49,21	49,21	46,09	0,566
36a	30,20	35,45	5,25	0,91	5,76	48,47	1,20	47,27	47,27	41,51	0,727
36b	27,36	31,11	3,75	0,91	4,11	55,56	1,20	54,36	54,36	50,25	0,544
37a	24,03	28,02	3,99	0,91	4,38	48,26	1,20	47,06	47,06	42,69	0,563
37b	25,09	29,63	4,54	0,91	4,98	50,87	1,20	49,67	49,67	44,69	0,561
38a	29,82	34,64	4,82	0,91	5,29	53,45	1,20	52,25	52,25	46,96	0,635
38b	29,17	33,06	3,89	0,91	4,27	50,73	1,20	49,53	49,53	45,26	0,644

Resumen de Pesos Específicos de las diferentes piezas

Piezas de madera de barracas				Piezas de madera de la empresa			
Numero de muestra	Peso específico [gr/cm3]	Peso específico [Kg/m3]	PE promedio [Kg/m3]	Numero de muestra	Peso específico [gr/cm3]	Peso específico [Kg/m3]	PE promedio [Kg/m3]
1a	0,708	708,2	708,2	1a	0,556	556,3	561,4
1b	0,708	708,1		1b	0,567	566,5	
2a	0,607	606,9	605,4	2a	0,561	561,2	560,9
2b	0,604	603,8		2b	0,561	560,5	
3a	0,571	570,7	573,5	3a	0,577	577,4	578,6
3b	0,576	576,4		3b	0,580	579,7	
4a	0,602	601,6	605,5	4a	0,515	515,3	506,0
4b	0,609	609,5		4b	0,497	496,6	
5a	0,706	705,6	706,1	5a	0,579	578,7	586,7
5b	0,707	706,5		5b	0,595	594,8	

“Estudio del módulo de elasticidad y resistencia a flexión en maderas laminadas con juntas Finger y encoladas”

6a	0,596	595,7	593,5	6a	0,644	644,3	644,9
6b	0,591	591,4		6b	0,646	645,5	
7a	0,674	673,9	662,3	7a	0,555	555,1	554,2
7b	0,651	650,7		7b	0,553	553,2	
8a	0,679	679,3	677,8	8a	0,554	553,7	549,6
8b	0,676	676,2		8b	0,546	545,5	
9a	0,675	675,1	674,4	9a	0,554	554,4	556,8
9b	0,674	673,6		9b	0,559	559,2	
10a	0,759	759,3	755,8	10a	0,525	524,8	527,0
10b	0,752	752,3		10b	0,529	529,2	
11a	0,755	755,4	757,5	11a	0,622	621,7	618,6
11b	0,760	759,7		11b	0,616	615,5	
12a	0,724	724,1	719,5	12a	0,539	539,3	541,6
12b	0,715	714,8		12b	0,544	543,9	
13a	0,659	659,2	660,5	13a	0,481	481,2	480,1
13b	0,662	661,9		13b	0,479	479,0	
14a	0,601	600,8	609,2	14a	0,514	514,0	512,3
14b	0,618	617,7		14b	0,511	510,6	
15a	0,626	626,2	622,4	15a	0,645	645,4	641,9
15b	0,619	618,7		15b	0,638	638,4	
16a	0,578	578,2	587,0	16a	0,605	605,0	601,5
16b	0,596	595,8		16b	0,598	598,1	
17a	0,440	439,7	445,6	17a	0,549	548,5	542,8
17b	0,451	451,4		17b	0,537	537,1	
18a	0,464	463,6	464,7	18a	0,584	584,1	577,9
18b	0,466	465,7		18b	0,572	571,7	
19a	0,466	466,2	463,9	19a	0,647	647,2	650,5
19b	0,462	461,7		19b	0,654	653,8	
20a	0,505	505,3	489,1	20a	0,613	612,9	599,5
20b	0,473	472,8		20b	0,586	586,2	
21a	0,903	902,6	900,6	21a	0,498	498,0	494,1
21b	0,899	898,6		21b	0,490	490,3	
22a	0,846	845,7	850,3	22a	0,582	581,5	581,7
22b	0,855	854,9		22b	0,582	581,9	
23a	0,892	891,5	891,0	23a	0,574	574,1	576,2
23b	0,891	890,6		23b	0,578	578,2	
24a	0,872	872,4	870,6	24a	0,621	620,7	617,4
24b	0,869	868,9		24b	0,614	614,1	
				25a	0,573	572,9	570,9
				25b	0,569	568,9	
				26a	0,636	635,7	635,0

26b	0,634	634,3	
27a	0,557	557,2	559,9
27b	0,563	562,7	
28a	0,516	516,4	513,4
28b	0,510	510,3	
29a	0,590	590,0	592,5
29b	0,595	594,9	
30a	0,558	557,7	559,7
30b	0,562	561,7	
31a	0,593	593,1	592,5
31b	0,592	591,9	
32a	0,512	512,1	515,1
32b	0,518	518,0	
33a	0,542	542,0	539,7
33b	0,537	537,3	
34a	0,897	897,0	899,5
34b	0,902	901,9	
35a	0,572	571,9	568,9
35b	0,566	565,9	
36a	0,727	727,5	636,0
36b	0,544	544,5	
37a	0,563	563,0	562,2
37b	0,561	561,4	
38a	0,635	634,9	639,7
38b	0,644	644,4	

VALOR MÁXIMO	900,60
VALOR MÍNIMO	445,56
VALOR PROMEDIO	662,27

VALOR MÁXIMO	899,45
VALOR MÍNIMO	480,09
VALOR PROMEDIO	580,19

DESVIACIÓN ESTANDAR	131,53
MEDIANA	661,40
VARIANZA	17300,49
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,20

DESVIACIÓN ESTANDAR	69,06
MEDIANA	569,91
VARIANZA	4768,92
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,12

ANEXO B:

AJUSTE DE CURVAS MEDIANTE REGRESIÓN LINEAL

Ajuste a la función lineal:

$$Y = A + B * X$$

la función lineal:

$$n * A + B * \sum X_i = \sum Y_i$$

$$A * \sum X_i + B * \sum X_i^2 = \sum X_i * Y_i$$

siendo:

tenemos:

$$n = 9$$

$$\sum X_i = 6,880$$

$$\sum Y_i = 72000$$

$$\sum X_i^2 = 7,573$$

$$\sum X_i * Y_i = 78600$$

$$9 A + 6,880 B = 156000$$

$$6,880 A + 7,573 B = 78600$$

calculando "A" y "B" en el sistema de ecuaciones:

A =	215,535
B =	10183,166

La función ajustada es:

$$Y_o = 215,535 + 10183,166 * X_o$$

Ajuste a la función lineal:

$$Y = A + B * X$$

la función lineal:

$$n * A + B * \sum X_i = \sum Y_i$$

$$A * \sum X_i + B * \sum X_i^2 = \sum X_i * Y_i$$

siendo:

$$n = 13$$

$$\sum X_i = 13,600$$

$$\sum Y_i = 156000$$

$$\sum X_i^2 = 19,764$$

$$\sum X_i * Y_i = 226680$$

tenemos:

$$13 A + 13,600 B = 156000$$

$$13,600 A + 19,764 B = 226680$$

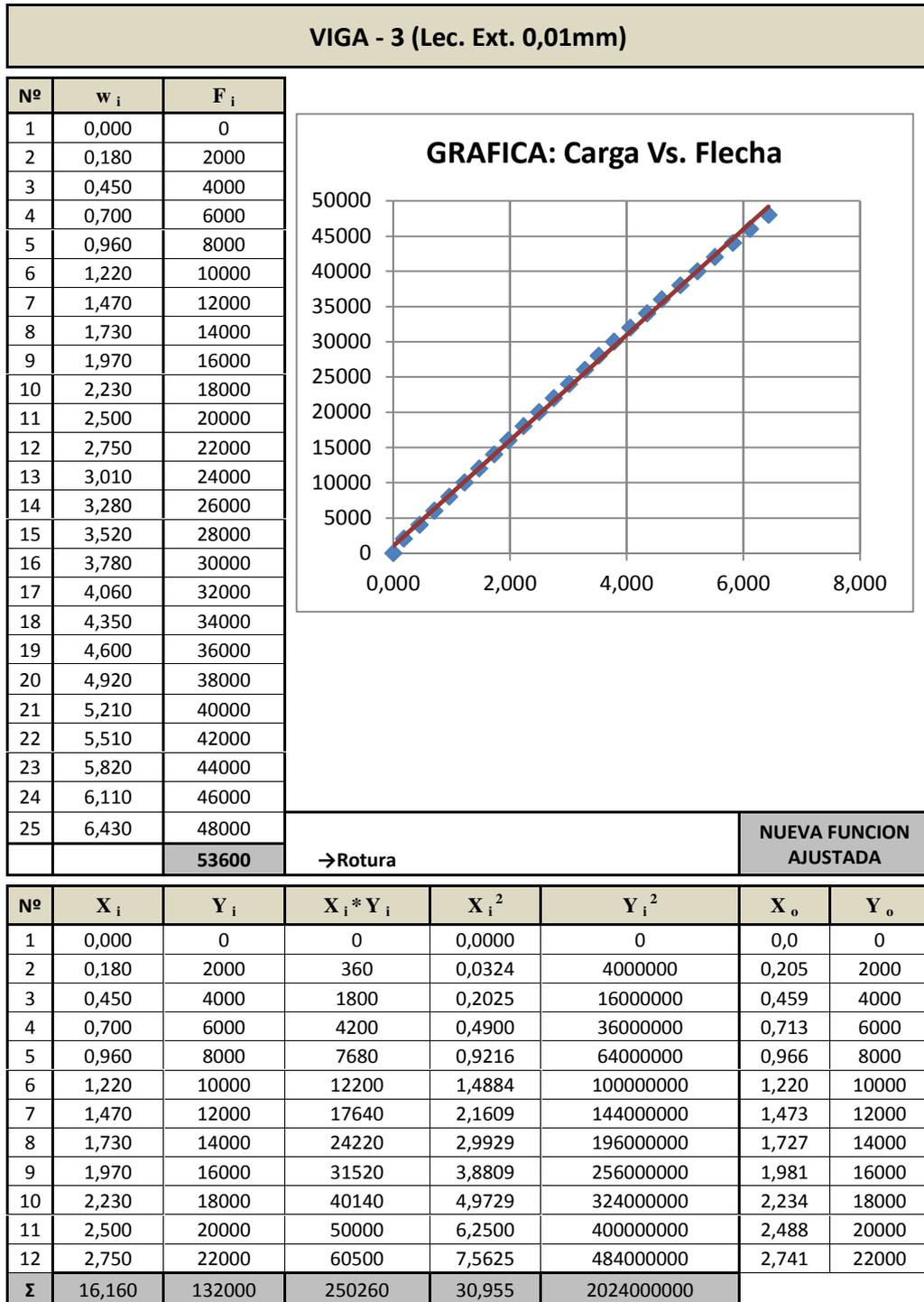
calculando "A" y "B" en el sistema de ecuaciones:

A =	3,802
B =	11466,954

La función ajustada es:

$$Y_o = 3,802 + 11466,954 * X_o$$

Ajuste de Curvas mediante regresión lineal



Ajuste a la función lineal:

$$y = A + B \cdot x$$

la función lineal:

$$n \cdot A + B \cdot \sum X_i = \sum Y_i$$

ajuste a la función lineal:

$$n \cdot A + B \cdot \sum X_i = \sum Y_i$$

$$A + \sum X_i \cdot B = \sum \frac{Y_i}{n}$$

siendo:

$$n = 12$$

$$\sum X_i = 16,160$$

$$\sum Y_i = 132000$$

$$\sum X_i^2 = 30,955$$

$$\sum X_i \cdot Y_i = 250260$$

tenemos:

$$12 A + 16,160 B = 132000$$

$$16,160 A + 30,955 B = 250260$$

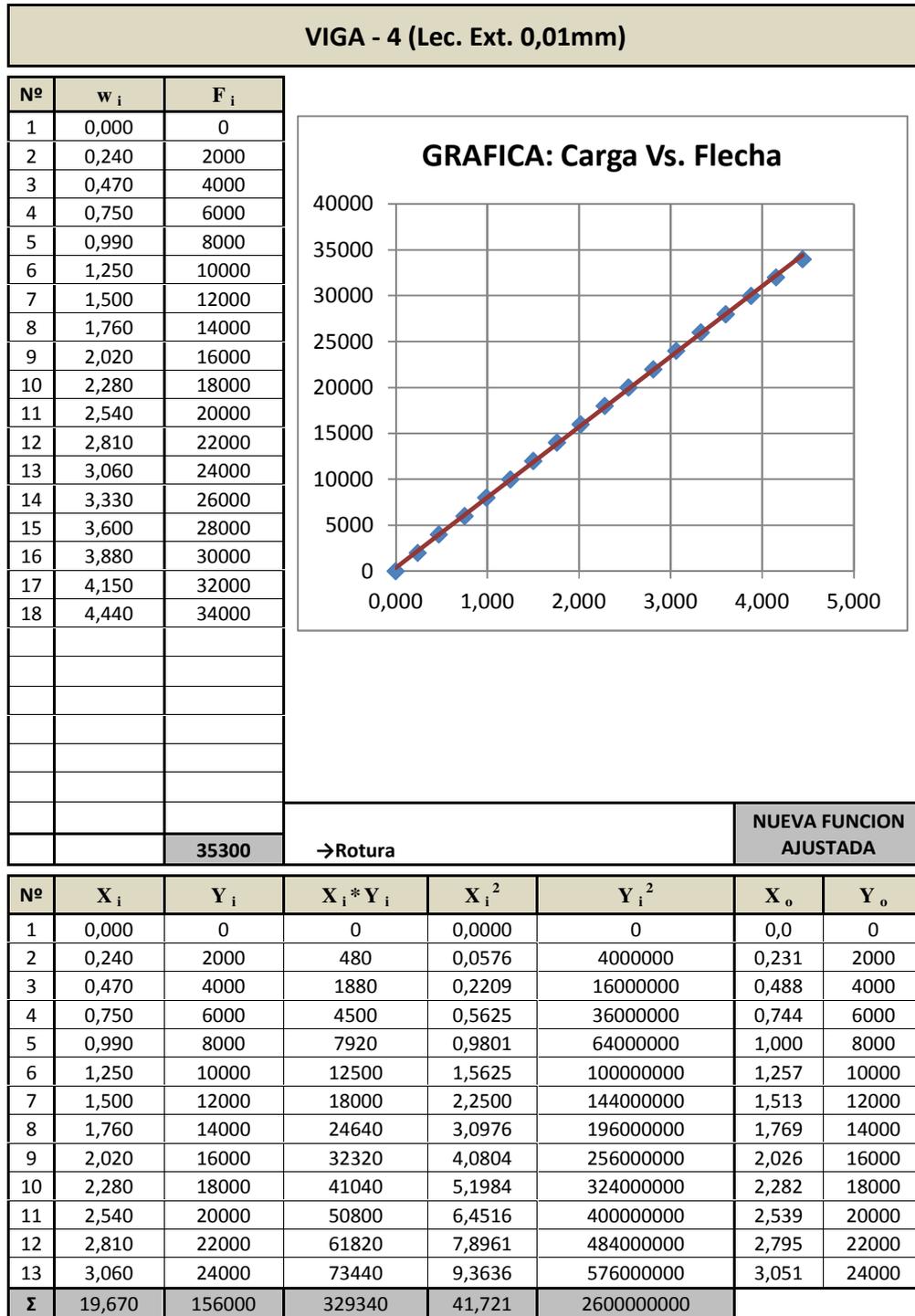
calculando "A" y "B" en el sistema de ecuaciones:

A =	379,446
B =	7886,550

La función ajustada es:

$$Y_o = 379,446 + 7886,550 \cdot X_o$$

Ajuste de Curvas mediante regresión lineal



Ajuste a la función lineal:

$$Y = A + B * X$$

$$n * A + B * \sum X_i = \sum Y_i$$

$$A + \sum X_i * B = \sum X_i + Y_i$$

siendo:

$$n = 13$$

$$\sum X_i = 19,670$$

$$\sum Y_i = 156000$$

$$\sum X_i^2 = 41,721$$

$$\sum X_i * Y_i = 329340$$

tenemos:

$$13 A + 19,670 B = 156000$$

$$19,670 A + 41,721 B = 329340$$

calculando "A" y "B" en el sistema de ecuaciones:

A =	195,571
B =	7801,605

La función ajustada es:

$$Y_o = 195,571 + 7801,605 * X_o$$

Ajuste a la función lineal:

$$Y = A + B * X$$

la función lineal:

$$n * A + B * \sum X_i = \sum Y_i$$

$$A * \sum X_i + B * \sum X_i^2 = \sum X_i * Y_i$$

siendo:

$$n =$$

13

$$\sum X_i = 17,390$$

$$\sum Y_i = 156000$$

$$\sum X_i^2 = 32,401$$

$$\sum X_i * Y_i = 290240$$

tenemos:

$$13 A + 17,390 B = 156000$$

$$17,390 A + 32,401 B = 290240$$

calculando "A" y "B" en el sistema de ecuaciones:

A =	60,907
B =	8925,141

La función ajustada es:

$$Y_o = 60,907 + 8925,141 * X_o$$

Ajuste a la función lineal:

$$y = A + B * x$$

$$n * A + B * \sum X_i = \sum Y_i$$

$$A * \sum X_i + B * \sum X_i^2 = \sum X_i * Y_i$$

siendo:

$$\sum X_i = 18,050$$

$$\sum Y_i = 156000$$

$$\sum X_i^2 = 35,397$$

$$\sum X_i * Y_i = 303300$$

tenemos:

$$13 A + 18,050 B = 156000$$

$$18,050 A + 35,397 B = 303300$$

calculando "A" y "B" en el sistema de ecuaciones:

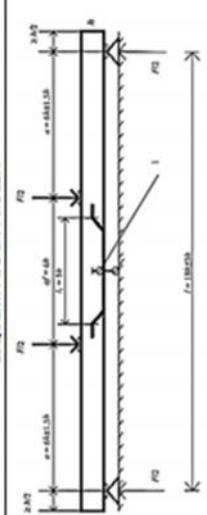
A =	352,655
B =	8388,670

La función ajustada es:

$$Y_o = 352,655 + 8388,670 * X_o$$

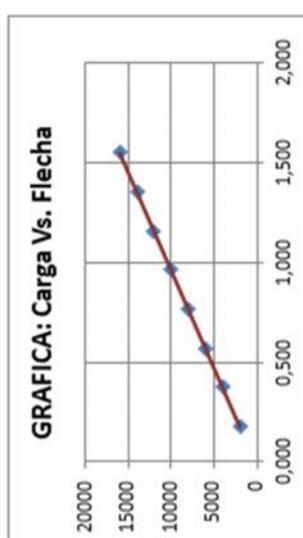
ANEXO C:

ENSAYO A FLEXIÓN DE LAS PROBETAS

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL		ENSAYO		FLEXIÓN	
 PROYECTO DE GRADO		NORMA		UNE - EN 408	
		FECHA		20/10/2017	
		ESPECIE		BIBOSI - QUECHO	
ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RESISTENCIA A FLEXIÓN EN MADERAS LAMINADAS CON JUNTAS FINGER Y ENCOLADAS		DENSIDAD BÁSICA		725,9	
		CONTENIDO HUMEDAD		6,7%	
		HUMEDAD RELATIVA		60 - 70 %	
		TEMPERATURA		15 - 18 ± C	
LUGAR DE LA PRUEBA		LABORATORIO DEL INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "HUGO MANCILLA"		PRENSA UNIVERSAL	
ESQUEMA DE LA PRUEBA					
					
NUMERO DE PROBETA		V - 1			
FORMULAS					
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ESTÁTICA		$f_m = \frac{\alpha F_{max}}{2W}$			
MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN ESTÁTICA		$E_m = \frac{\alpha L^3 (F_2 - F_1)}{16f (w_2 - w_1)}$			
ESFUERZO A CORTE		$\tau_m = \frac{3F_{max}}{4bh}$			
Carga de rotura "F máx." [N]		Deformación máxima teórica "δ máx." [mm]			
42200		4,123			
Resistencia a la Flexión Estática "E m" [N/mm2]		Módulo de Elasticidad en Flexión Estática "E m" [N/mm2]			
57,93		14066,00			
Esfuerzo a corte "τ m" [N/mm2]		Esfuerzo a corte "τ m" [Kg/cm2]			
2,49		25,37			
FOTOGRAFIA DE FALLA DE LA PROBETA					
					
TIPO DE FALLA		Por junta transversal y falla de láminas centrales			

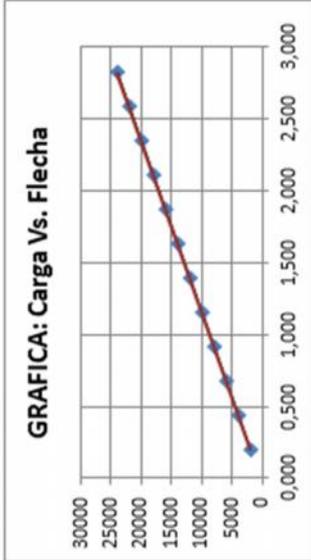
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL		ENSAYO		FLEXIÓN	
 PROYECTO DE GRADO		NORMA		UNE - EN 408	
		FECHA		20/10/2017	
		ESPECIE		BIBOSI - QUECHO	
ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RESISTENCIA A FLEXIÓN EN MADERAS LAMINADAS CON JUNTAS FINGER Y ENCOLADAS		DENSIDAD BÁSICA		725,9	
		CONTENIDO HUMEDAD		6,7%	
		HUMEDAD RELATIVA		60 - 70 %	
		TEMPERATURA		15 - 18 ± C	
LUGAR DE LA PRUEBA		LABORATORIO DEL INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "HUGO MANCILLA"		PRENSA UNIVERSAL	
ADHESIVO					
TIPO		POLIVINILACETATO (D3)		FORMA	
ORIGEN		HENKEL CHILE LTDA.		TEMPERATURA DE FRAGUADO	
PRESION DEL PRENSADO		1.00 BARES		HUMEDAD DE FRAGUADO	
TIEMPO DE PRENSADO		5 HORAS		TIEMPO DE FRAGUADO	
				10 DIAS	
Ancho de probeta "b" [mm]		79		Distancia entre el punto de carga y el apoyo "a" [mm]	
Altura de probeta "h" [mm]		161		937	
Longitud de probeta "L" [mm]		3001			
Deformación [mm]		0,0			
0,175					
0,372					
0,568					
0,764					
0,961					
1,157					
1,354					
1,550					
Carga [N]		0			
2000					
4000					
6000					
8000					
10000					
12000					
14000					
16000					
42200					
ROTURA					

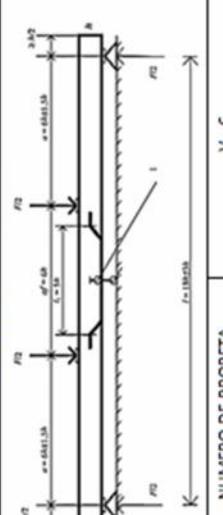
GRAFICA: Carga Vs. Flecha



ECUACIÓN DE LA FUNCION DE AJUSTE
 $Y_o = 10183,166 * (X_o + 0,0212)$

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL		ENSAYO		FLEXIÓN	
PROYECTO DE GRADO ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RESISTENCIA A FLEXIÓN EN MADERAS LAMINADAS CON JUNTAS FINGER Y ENCOLADAS		NORMA		UNE - EN 408	
		FECHA		20/10/2017	
		ESPECIE		BIBOSI - QUECHO	
		DENSIDAD BÁSICA		671,1	
CONTENIDO HUMEDAD		7,1%		7,1%	
HUMEDAD RELATIVA		60 - 70 %		60 - 70 %	
TEMPERATURA		15 - 18 ± C		15 - 18 ± C	
LABORATORIO DEL INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "HUGO MANCILLA"		MAQUINA DE ENSAYO		PRENSA UNIVERSAL	
ESQUEMA DE LA PRUEBA 					
NUMERO DE PROBETA		V - 2			
FORMULAS					
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ESTÁTICA		$f_m = \frac{\alpha F_{max}}{2W}$			
MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN ESTÁTICA		$E_m = \frac{\alpha l_1^2 (F_2 - F_1)}{16l (w_2 - w_1)}$			
ESFUERZO A CORTE		$\tau_m = \frac{3F_{max}}{4bh}$			
Carga de rotura "F máx." [N]		25600			
Deformación máxima teórica "δ máx." [mm]		2,232			
Resistencia a la Flexión Estática "f máx." [N/mm2]		Módulo de Elasticidad en Flexión Estática "E m" [N/mm2]			
35,75		16014,84			
Esfuerzo a corte "τ m" [N/mm2]		Esfuerzo a corte "τ m" [Kg/cm2]			
1,52		15,48			
FOTOGRAFIA DE FALLA DE LA PROBETA					
TIPO DE FALLA		Por encolado entre laminas centrales y junta transversal inferior			
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL		ENSAYO		FLEXIÓN	
PROYECTO DE GRADO ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RESISTENCIA A FLEXIÓN EN MADERAS LAMINADAS CON JUNTAS FINGER Y ENCOLADAS		NORMA		UNE - EN 408	
		FECHA		20/10/2017	
		ESPECIE		BIBOSI - QUECHO	
		DENSIDAD BÁSICA		671,1	
CONTENIDO HUMEDAD		7,1%		7,1%	
HUMEDAD RELATIVA		60 - 70 %		60 - 70 %	
TEMPERATURA		15 - 18 ± C		15 - 18 ± C	
LABORATORIO DEL INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "HUGO MANCILLA"		MAQUINA DE ENSAYO		PRENSA UNIVERSAL	
ADHESIVO					
TIPO		POLIVINILACETATO (D3)		FORMA	
ORIGEN		HENKEL CHILE LTDA.		TEMPERATURA DE FRAGUADO	
PRESION DEL PRENSADO		100 BARES		HUMEDAD DE FRAGUADO	
TIEMPO DE PRENSADO		5 HORAS		TIEMPO DE FRAGUADO	
				10 DIAS	
				FLUIDO (COLA BLANCA)	
				14 - 19 ± C	
				50 - 60 %	
				3003	
				Longitud de probeta "L" [mm]	
				942	
				Distancia entre el punto de carga y el apoyo "a" [mm]	
				160	
				Altura de probeta "h" [mm]	
				79	
				Ancho de probeta "b" [mm]	
				0,0	
				0,174	
				0,348	
				0,523	
				0,697	
				0,872	
				1,046	
				1,221	
				1,395	
				1,569	
				1,744	
				1,918	
				2,093	
				30000	
				25000	
				20000	
				15000	
				10000	
				5000	
				0	
				0,000	
				0,500	
				1,000	
				1,500	
				2,000	
				2,500	
GRAFICA: Carga Vs. Flecha 					
ECUACIÓN DE LA FUNCION DE AJUSTE $Y_o = 11466,945 * (X_o + 0,0003)$					
25600		ROTURA			

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL		ENSAYO		FLEXIÓN	
 <p>PROYECTO DE GRADO</p> <p>ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RESISTENCIA A FLEXIÓN EN MADERAS LAMINADAS CON JUNTAS FINGER Y ENCOLADAS</p>		NORMA		UNE - EN 408	
		FECHA		20/10/2017	
		ESPECIE		CAMBARA	
		DENSIDAD BASICA		605,5	
CONTENIDO HUMEDAD		6,9%			
HUMEDAD RELATIVA		60 - 70 %			
TEMPERATURA		15 - 18 ± C			
LABORATORIO DEL INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "HUGO MANCILLA"		MAQUINA DE ENSAYO		PRENSA UNIVERSAL	
LUGAR DE LA PRUEBA		ADHESIVO			
TIPO		POLIVINILACETATO (EPI - D4)		FLUIDO (COLA BLANCA)	
ORIGEN		HENKEL CHILE LTDA.		TEMPERATURA DE FRAGUADO	
PRESION DEL PENSADO		100 BARES		HUMEDAD DE FRAGUADO	
TIEMPO DE PENSADO		5 HORAS		TIEMPO DE FRAGUADO	
		Ancho de probeta "b" [mm]		Altura de probeta "h" [mm]	
		79		160	
		Distancia entre el punto de carga y el apoyo "a" [mm]		Longitud de probeta "L" [mm]	
		942		3004	
		<p>GRAFICA: Carga Vs. Flecha</p> 			
		<p>ECUACION DE LA FUNCION DE AJUSTE</p> $Y_o = 8388,670 * (X_o + 0,0420)$			
		<p>35500 ROTURA</p>			

ESQUEMA DE LA PRUEBA	
	
NUMERO DE PROBETA V - 6	
FORMULAS	
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ESTÁTICA	$f_m = \frac{\alpha F_{max}}{2W}$
MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN ESTÁTICA	$E_m = \frac{\alpha l_1^2 (F_2 - F_1)}{16l (w_2 - w_1)}$
ESFUERZO A CORTE	$\tau_m = \frac{3F_{max}}{4bh}$
Carga de rotura "F máx." [N]	Deformación máxima teórica "δ máx." [mm]
35500	4,190
Resistencia a la Flexión Estática "f máx." [N/mm2]	Módulo de Elasticidad en Flexión Estática "E m" [N/mm2]
49,61	11721,91
Esfuerzo a corte "τ m" [N/mm2]	Esfuerzo a corte "τ m" [Kg/cm2]
2,11	21,47
FOTOGRAFIA DE FALLA DE LA PROBETA	
	
TIPO DE FALLA	Por junta transversal en lámina inferior y falla a flexión en la parte central

ANEXO D:

RESUMEN DE LAS RESISTENCIAS A FLEXIÓN

Probetas con madera de la Barraca

Nº de Probeta	Ancho de Probeta "b" [mm]	Altura de Probeta "h" [mm]	Longitud de Probeta "L" [mm]	Carga de Ruptura "F máx." [N]	Deformación teórica "δ máx." [mm]	Contenido de humedad [%]	PROPIEDADES MECÁNICAS SIN CORRECCIÓN		
							Resistencia a flexión estática "f m" [N/mm ²]	Módulo de elasticidad "E m" [N/mm ²]	Esfuerzo a corte "τ m" [N/mm ²]
V - 1	790	161	3001	42200	4,123	6,7	57,93	14066,00	2,49
V - 2	790	160	3003	25600	2,232	7,1	35,75	16014,84	1,52
V - 3	790	160	3002	53600	6,748	6,4	74,82	11008,57	3,18
VALOR MÁXIMO							74,82	16014,84	3,18
VALOR MÍNIMO							35,75	11008,57	1,52
VALOR PROMEDIO							56,17	13696,47	2,40
DESVIACIÓN ESTANDAR							19,59	2523,51	0,83
MEDIANA							57,93	14066,00	2,49
VARIANZA							383,85	6368103,12	0,70
COEFICIENTE DE VARIACIÓN							0,35	0,18	0,35

Probetas con madera de la Barraca

Nº de Probeta	Carga de Ruptura "F max" [N]	Deformación teórica "δ max" [mm]	Contenido de humedad [%]	PROPIEDADES MECÁNICAS SIN CORRECCIÓN			PROPIEDADES MECÁNICAS CON CORRECCIÓN		
				Resistencia a flexión estática "f m" [N/mm ²]	Módulo de elasticidad "E m" [N/mm ²]	Esfuerzo a corte "τ m" [N/mm ²]	MOR		MOE
							Corrección por altura de viga "f m"	Corrección por la luz de viga "f m"	Corrección por humedad "E m"
V - 1	42200	4,123	6,7	57,93	14066,00	2,49	58,75	57,84	13320,51
V - 2	25600	2,232	7,1	35,75	16014,84	1,52	36,22	35,72	15230,11
V - 3	53600	6,748	6,4	74,82	11008,57	3,18	75,79	74,74	10392,09
VALOR MÁXIMO				74,82	16014,84	3,18	75,79	74,74	15230,11
VALOR MÍNIMO				35,75	11008,57	1,52	36,22	35,72	10392,09
VALOR PROMEDIO				56,17	13696,47	2,40	56,92	56,10	12980,90
							56,51		

Probetas con madera de la Barraca

Nº de Probeta	Carga de Ruptura "F máx." [N]	Deformación teórica "δ máx." [mm]	Contenido de humedad [%]	PROPIEDADES MECÁNICAS CON CORRECCIÓN		
				MOR		MOE
				Corrección por altura de viga "f m"	Corrección por la luz de viga "f m"	Corrección por humedad "E m"
V - 1	42200	4,123	6,7	58,75	57,84	13320,51
V - 2	25600	2,232	7,1	36,22	35,72	15230,11
V - 3	53600	6,748	6,4	75,79	74,74	10392,09
VALOR MÁXIMO				75,79	74,74	15230,11
VALOR MÍNIMO				36,22	35,72	10392,09
VALOR PROMEDIO				56,92	56,10	12980,90
				56,51		
Valor característico 5º percentil de la Resistencia a Flexión "f k"				50,86		
Valor característico 5º percentil del Módulo de Elasticidad "E k"				13050,63		

Probetas con madera de la Empresa

Nº de Probeta	Ancho de Probeta "b" [mm]	Altura de Probeta "h" [mm]	Longitud de Probeta "L" [mm]	Carga de Ruptura "F máx." [N]	Deformación teórica "δ máx." [mm]	Contenido de humedad [%]	PROPIEDADES MECÁNICAS SIN CORRECCIÓN		
							Resistencia a flexión estática "f m" [N/mm ²]	Módulo de elasticidad "E m" [N/mm ²]	Esfuerzo a corte "τ m" [N/mm ²]
V - 4	790	160	3002	35300	4,500	7,7	49,27	10890,00	2,09
V - 5	790	160	3000	24500	2,738	7,2	34,16	12445,06	1,45
V - 6	790	160	3004	35500	4,190	6,9	49,61	11721,91	2,11
VALOR MÁXIMO							49,61	12445,06	2,11
VALOR MÍNIMO							34,16	10890,00	1,45
VALOR PROMEDIO							44,35	11685,66	1,88
DESVIACIÓN ESTANDAR							8,82	778,17	0,37
MEDIANA							49,27	11721,91	2,09
VARIANZA							77,83	605543,25	0,14
COEFICIENTE DE VARIACIÓN							0,20	0,07	0,20

Probetas con madera de la Empresa

Nº de Probeta	Carga de Ruptura "F máx." [N]	Deformación teórica "δ máx." [mm]	Contenido de humedad [%]	PROPIEDADES MECÁNICAS SIN CORRECCIÓN			PROPIEDADES MECÁNICAS CON CORRECCIÓN		
				Resistencia a flexión estática "f m" [N/mm ²]	Módulo de elasticidad "E m" [N/mm ²]	Esfuerzo a corte "τ m" [N/mm ²]	MOR		MOE
							Corrección por altura de viga "f m"	Corrección por la luz de viga "f m"	Corrección por humedad "E m"
V - 4	35300	4,500	7,7	49,27	10890,00	2,09	49,91	49,23	10421,73
V - 5	24500	2,738	7,2	34,16	12445,06	1,45	34,61	34,13	11847,70
V - 6	35500	4,190	6,9	49,61	11721,91	2,11	50,25	49,56	11124,09
VALOR MÁXIMO				49,61	12445,06	2,11	50,25	49,56	11847,70
VALOR MÍNIMO				34,16	10890,00	1,45	34,61	34,13	10421,73
VALOR PROMEDIO				44,35	11685,66	1,88	44,92	44,30	11131,17
							44,61		

Probetas con madera de la Empresa

Nº de Probeta	Carga de Ruptura "F máx." [N]	Deformación teórica "δ máx." [mm]	Contenido de humedad [%]	PROPIEDADES MECÁNICAS CON CORRECCIÓN		
				MOR		MOE
				Corrección por altura de viga "f m"	Corrección por la luz de viga "f m"	Corrección por humedad "E m"
V - 4	35300	4,500	7,7	49,91	49,23	10421,73
V - 5	24500	2,738	7,2	34,61	34,13	11847,70
V - 6	35500	4,190	6,9	50,25	49,56	11124,09
VALOR MÁXIMO				50,25	49,56	11847,70
VALOR MÍNIMO				34,61	34,13	10421,73
VALOR PROMEDIO				44,92	44,30	11131,17
				44,61		
Valor característico 5º percentil de la Resistencia a Flexión "f k"				40,15		
Valor característico 5º percentil del Módulo de Elasticidad "E k"				11113,94		

ANEXO E:

COMPARACIÓN CON NORMAS E INVESTIGACIONES PREVIAS

Tabla 5.9 Cuadro comparativo de los esfuerzos.

VALORES CARACTERISTICOS	Norma Chilena	Norma Europea	Proyecto Ing. Ysmael Titirico C.	Probetas ensayadas (Barracas)	Probetas ensayadas (Empresa)
Módulo de Rotura "MOR" [N/mm ²]	40	36	41,2	50,9	40,2
Módulo Elástico "MOE" [N/mm ²]	11000	11900	12980,58	13050,63	11113,94

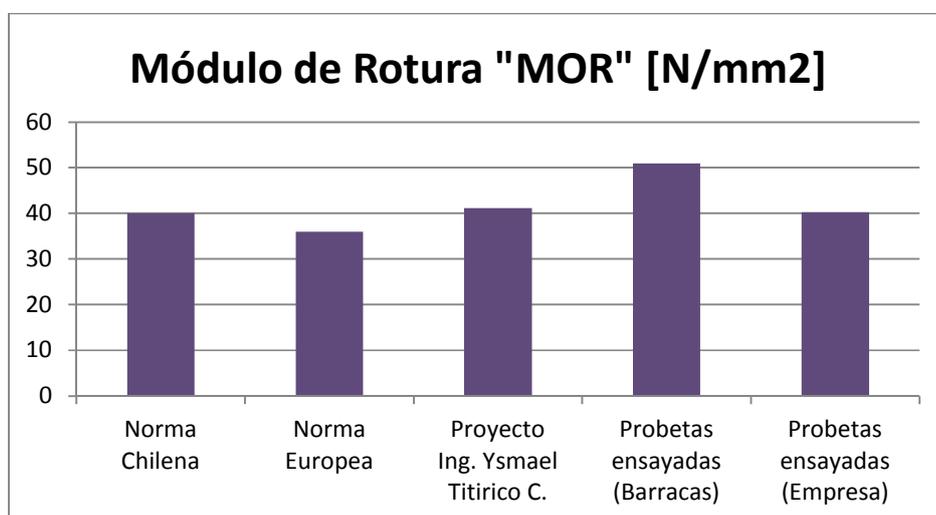


Grafico 5.1 Comparación entre valores del Módulo de Rotura.

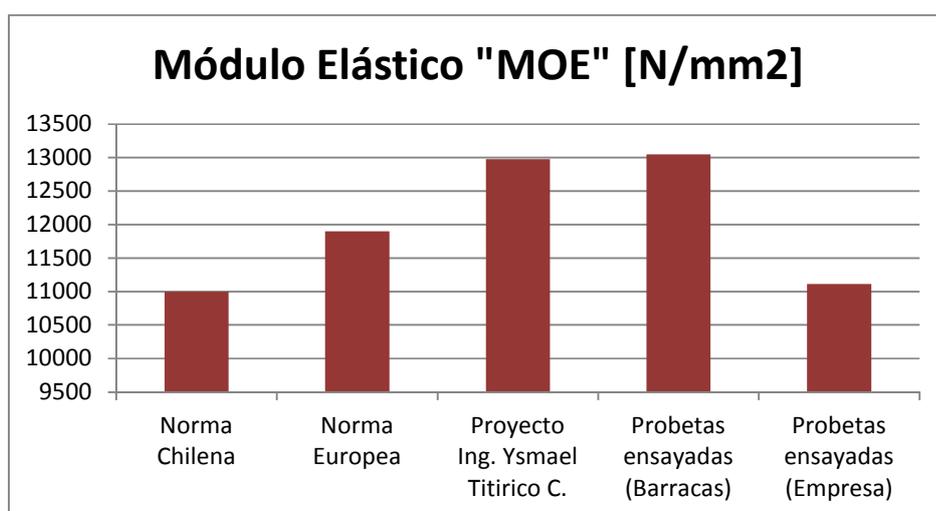


Grafico 5.2 Comparación entre valores del Módulo Elástico.

ANEXO F:

***ENSAYO DE TENSIÓN DE CORTE EN LA LÍNEA DEL
ADHESIVO***
