

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES  
DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE  
VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID**

**ASESOR**

**MSc. Ing. ISABEL MOROMI NAKATA**

**LIMA- PERÚ**

**2019**

©2019, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos”**

Fredy Américo, Cruzatt Almonacid

**Correo:** [facruzattal@gmail.com](mailto:facruzattal@gmail.com)

**Teléfono:** 957 258 305

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi abuelo Florencio, mi tía Olga con quienes compartí un hogar, amor infinito y amistad eterna; a mi familia por su apoyo en el desarrollo y culminación de esta investigación.

## AGRADECIMIENTOS

En estas líneas quisiera mostrar mi gratitud a todas las personas que apoyaron en la realización de este trabajo de investigación.

A mis padres; Zenaida, Víctor y Betty, por su infinito amor y paciencia, por darme fortaleza en momentos difíciles; haberme dado la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería Civil en esta prestigiosa universidad.

A mí querida hermana Tatiana, por su paciencia, confianza, amor y por los momentos de alegría, cuando más lo necesité.

A mi asesora; la MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata, por su valiosa ayuda, paciencia y colaboración en cada momento de consulta durante el desarrollo de la tesis.

Al doctor Francisco García de la Universidad Politécnica de Madrid, por su importante colaboración a consultas, enseñanza y aporte en el desarrollo de este trabajo.

Al Arquitecto Luis Takahashi, por su amabilidad, predisposición, compartir su tiempo y evidencia fotográfica de los proyectos ejecutados en madera laminada.

A las doctoras Vanesa Baño de la Universidad de la República Uruguay y Laura Moya de la Universidad ORT por su apoyo a las consultas interpretativas relacionadas al tema desarrollado.

Al Ingeniero Willy Sedano dueño de la empresa Postes Wise SAC., por el servicio prestado con los equipos, materiales y mano de obra para la elaboración de probetas y a los señores Víctor Hono y Manuel Reyes, por brindarme asistencia técnica en el proceso de fabricación de probetas.

Al Laboratorio de Ensayo de Materiales, por el uso de sus instalaciones para la realización de los ensayos físicos – mecánicos.

Asimismo a mi compañero y amigo Alfredo por motivarme a seguir adelante y no darme por vencido, finalmente a todas las personas que de manera directa o indirecta colaboraron con la realización y culminación de esta investigación.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>6</b>
<b>PRÓLOGO.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.. .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1 GENERALIDADES.....	16
1.2 REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	16
1.3 ANTECEDENTES.....	17
1.3.1 Antecedentes internacionales .....	17
1.3.2 Antecedentes Nacionales.....	18
1.4 OBJETIVOS.....	18
1.4.1 Objetivo general .....	18
1.4.2 Objetivo específico.....	18
1.5 HIPÓTESIS.....	18
1.6 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.7 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.8 ALCANCES Y LIMITACIONES .....	19
<b>CAPÍTULO II : FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
2.1 SITUACIÓN FORESTAL.....	20
2.1.1 Sector forestal en el Perú.....	20
2.1.2 Participación del sector forestal en la economía del Perú .....	20
2.1.3 Comparación del sector forestal peruano con los de otros países de la región.....	21
2.1.4 Clasificación de la madera .....	21
2.1.4.1 Maderas coníferas .....	21
2.1.4.2 Maderas latifoliadas .....	21
2.2 MADERA LAMINADA ENCOLADA .....	22
2.2.1 Definición de madera laminada encolada.....	22
2.2.1.1 Descripción de los componentes de la viga de MLE .....	22
2.2.1.2 Formas de laminación.....	23
2.2.2 Ventajas de la madera laminada encolada.....	23

2.2.3	Desventajas de la madera laminada encolada .....	24
2.2.4	Comparación de la madera laminada encolada respecto de otros materiales. ....	24
2.2.5	Aplicaciones de la madera laminada encolada.....	25
2.2.6	La Madera laminada en el Perú .....	26
2.2.6.1	Maderas utilizadas en la fabricación de madera laminada encolada ...	27
2.2.6.2	Proyectos ejecutados con madera laminada en el Perú.....	27
2.3	TORNILLO (Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke) .....	29
2.3.1	Identificación Botánica del Tornillo .....	29
2.3.2	Distribución Geográfica.....	30
2.3.3	Características de la madera Tornillo .....	30
2.3.4	Usos de la madera Tornillo .....	31
2.3.5	Propiedades físicas y mecánicas de la madera Tornillo .....	31
2.4	UNIÓN DENTADA .....	32
2.5	ADHESIVOS.....	34
2.5.1	Definiciones y terminología de adhesivos.....	34
2.5.2	Tipos de adhesivos .....	34
2.5.2.1	Adhesivos inorgánicos .....	34
2.5.2.2	Adhesivos Orgánico .....	35
2.6	VIGAS: ASPECTOS GENERALES .....	36
2.7	PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA.....	41
2.7.1	Condiciones ambientales de las instalaciones de fabricación.....	41
2.7.2	Clasificación visual y saneado de la madera destinada a laminación.....	42
2.7.3	Armado de láminas en seco.....	42
2.7.4	Medición del contenido de humedad .....	43
2.7.5	Elección del adhesivo .....	44
2.7.5.1	Preparación del adhesivo para el encolado.....	46
2.7.6	Formación de láminas con uniones dentadas .....	46
2.7.7	Cepillado de láminas .....	49
2.7.8	Encolado de láminas .....	49
2.7.9	Prensado.....	51
2.7.10	Curado.....	52
2.7.11	Acabado y dimensiones finales .....	53
2.7.12	Almacenaje y transporte.....	53

2.8	ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD .....	53
2.8.1	Ensayos de delaminación .....	54
2.8.2	Ensayos de esfuerzo cortante sobre la línea de cola .....	55
2.9	ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN.....	56
<b>CAPÍTULO III : REQUISITOS PARA LAS UNIONES DENTADAS EN LA ELABORACIÓN DE VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA .... 58</b>		
3.1	REQUISITOS EN LA FABRICACIÓN DE LAS UNIONES DENTADAS ...	58
3.1.1	Nudos y defectos en la madera.....	58
3.1.2	Geometría del perfil dentado.....	58
3.1.3	Encolado de uniones dentadas .....	59
3.1.4	Presión y curado de uniones dentadas .....	59
3.2	PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROBETAS CON UNIÓN DENTADA .....	60
3.2.1	Selección de las muestras .....	60
3.2.2	Confección de las muestras .....	61
<b>CAPÍTULO IV : ENSAYOS PARA LAS UNIONES DENTADAS ENCOLADAS 64</b>		
4.1	DESARROLLO DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	64
4.2	ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS.....	64
4.2.1	Ensayo para determinar el contenido de humedad .....	64
4.2.1.1	Obtención de muestras .....	64
4.2.1.2	Equipos utilizados .....	65
4.2.1.3	Procedimiento de ensayo.....	65
4.2.1.4	Expresión de los resultados .....	66
4.2.2	Ensayo para la determinación de la densidad básica.....	69
4.2.2.1	Obtención de muestras .....	69
4.2.2.2	Equipos Utilizados .....	69
4.2.2.3	Procedimiento de ensayo.....	69
4.2.2.4	Expresión de los resultados .....	71
4.3	ENSAYOS MECÁNICOS .....	73
4.3.1	Ensayo de flexión estática a 4 puntos .....	73
4.3.1.1	Equipo Utilizado .....	73
4.3.1.2	Procedimiento de ensayo.....	74
4.3.1.3	Expresión de los resultados .....	75
4.3.2	Ensayo de tracción paralela a la fibra.....	82
4.3.2.1	Características de las probetas.....	82

4.3.2.2	Equipo Utilizado .....	83
4.3.2.3	Procedimiento de ensayo.....	83
4.3.2.4	Expresión de los resultados .....	85
4.3.3	Procedimiento de análisis de datos obtenidos en laboratorio .....	88
4.3.3.1	Análisis estadístico.....	88
4.3.4	Tipos de falla de las uniones dentadas .....	89
<b>CAPÍTULO V : ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>		<b>92</b>
5.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS .....	92
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS .....	92
5.2.1	Análisis de valores de resistencia característica a flexión de las uniones dentadas.....	92
5.2.2	Análisis comparativo de los resultados a flexión de las uniones dentadas con respecto a estudios similares. ....	94
5.2.3	Análisis de los resultados de los esfuerzos cortantes máximos por flexión de las uniones dentadas.....	95
5.2.4	Análisis del tipo de falla a flexión de las uniones dentadas .....	96
5.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.....	97
5.3.1	Análisis de valores de resistencia característica a tracción de las uniones dentadas.....	97
5.3.2	Análisis comparativo de los resultados a tracción paralela a la fibra de las uniones dentadas con respecto a estudios similares .....	99
5.3.3	Análisis del tipo de falla a tracción paralela a la fibra de las uniones dentadas.....	100
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>103</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA... ..</b>		<b>106</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>112</b>

## RESUMEN

El objetivo principal del estudio es evaluar y obtener los valores de resistencia característica de las uniones dentadas de madera Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D. Ducke), para su utilización en la fabricación de vigas de madera laminada para uso estructural.

Se elaboraron 80 probetas con unión dentada encoladas con MUF (Melamina Úrea Formaldehído), de las cuales 40 probetas fueron ensayadas a flexión estática a 4 puntos de acuerdo con lo indicado por la norma EN 408 y las otras 40 probetas fueron ensayadas a tracción paralela a la fibra siguiendo las pautas indicadas por la norma NBR 7190 y la metodología de ensayo presentada por Mohamad (2011).

La resistencia característica a flexión y tracción paralela a la fibra de las uniones dentadas obtenidas fueron de 38.11 MPa y 35.11 MPa respectivamente. La resistencia característica a flexión fue similar a la resistencia mínima a flexión de las uniones dentadas de láminas (38MPa) encontrada en la norma EN 14080, mientras que la resistencia característica a tracción paralela a la fibra logró superar los 29 MPa, valor asignado a la clase resistente más alta de la norma EN 14080.

Para cada ensayo efectuado se clasificaron y caracterizaron cada una de las probetas por tipo de falla, con la finalidad de evaluar la calidad del encolado de la unión fabricada. En esta etapa de análisis la mayoría de uniones dentadas produjeron un 100% de rotura por madera (falla tipo 1) y rotura por madera - adhesivo (falla tipo 2), es decir, el encolado funcionó adecuadamente.

## ABSTRACT

The main objective of the study is to evaluate and obtain the values of resistance characteristic of the finger joints of wood Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D. Ducke), for its use in the manufacture of laminated wooden beams for structural use.

They were made 80 specimens with finger joints glued with MUF (Melamine Urea Formaldehyde) were prepared, of which 40 test pieces were tested to static bending at 4 points according to what is indicated by the EN 408 standard and the other 40 specimens were tested with under tension parallel of the fiber following the guidelines indicated by the NBR 7190 standard and the test methodology presented by Mohamad (2011).

The characteristic resistance to bending and tensile parallel to the fiber of the finger joints obtained were 38.11 MPa and 35.11 MPa respectively. The characteristic resistance to bending was similar to the minimum bending strength of the finger joints of lamellas (38MPa) found in the EN 14080 standard, while the characteristic resistance to tensile parallel to the fiber exceeded 29 MPa, value assigned to the highest resistant class of the EN 14080 standard.

For each test carried out, each of the specimens was classified and characterized by type of failure, in order to evaluate the quality of the bonding of the manufactured joint. In this analysis stage, most of the finger joints produced 100% breakage to wood (type 1 failure) and breakage by wood and adhesive (type 2 failure), that is, the gluing worked properly.

## PRÓLOGO

En el Perú, a pesar de contar con áreas de bosques que lo ubican como 2° en Latinoamérica y 7° en el mundo, el uso de la madera en la construcción es limitado.

Existen muchos factores que han contribuido a ello, como las condiciones geográficas que dificultan su extracción, las distancias y las condiciones heterogéneas de los bosques, entre otros. Pero también el poco desarrollo de la industria y las características del mercado nacional.

Se han llevado a cabo muchos esfuerzos para contribuir al desarrollo de la industria y la tecnología para la difusión de su aplicación en la construcción y una de las alternativas propuestas es la madera laminada.

Esta tecnología está siendo aplicada en Estados Unidos, países europeos y algunos países latinoamericanos. En el Perú ha habido algunos esfuerzos y actualmente se observa interés en algunas empresas en su desarrollo.

Con el fin de contribuir a ello, se ha realizado el presente estudio sobre el Comportamiento de uniones dentadas encoladas orientadas a la fabricación de vigas laminadas con madera Tornillo.

Una de las ventajas de esta tecnología es el mejor aprovechamiento del recurso forestal al permitir el uso de piezas cortas para la fabricación de elementos de mayores dimensiones.

**MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata**  
**ASESORA**

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1 Comparativo de índices forestales. ....	21
Cuadro 2.2 Comparativo de MLE respecto de otros materiales. ....	25
Cuadro 2.3 Propiedades físicas y mecánicas de la madera Tornillo. ....	32
Cuadro 2.4 Características del MUF 1242/2542 .....	45
Cuadro 3.1 Parámetros geométricos del perfil dentado .....	59
Cuadro 3.2 Muestras para la realización de ensayos mecánicos.....	60
Cuadro 4.1 Muestras para determinar el contenido de humedad.....	65
Cuadro 4.2 Resultados del contenido de humedad del ensayo a flexión con uniones dentadas.....	67
Cuadro 4.3 Resultados del contenido de humedad del ensayo a flexión sin uniones dentadas.....	67
Cuadro 4.4 Resultados del contenido de humedad del ensayo a tracción con uniones dentadas.....	68
Cuadro 4.5 Resultados del contenido de humedad del ensayo a tracción sin uniones dentadas .....	68
Cuadro 4.6 Muestras para determinar la densidad básica .....	69
Cuadro 4.7 Resultados de la densidad básica del ensayo a flexión con uniones dentadas.....	71
Cuadro 4.8 Resultados de la densidad básica del ensayo a flexión sin uniones dentadas.....	72
Cuadro 4.9 Resultados de la densidad básica del ensayo a tracción con uniones dentadas.....	72
Cuadro 4.10 Resultados de la densidad básica del ensayo a tracción con uniones dentadas.....	73
Cuadro 4.11 Resultados del ensayo a flexión estática a 4 puntos con uniones dentadas.....	80
Cuadro 4.12 Resultados del ensayo a flexión estática a 4 puntos sin uniones dentadas.....	81
Cuadro 4.13 Resultados del ensayo a tracción paralela a la fibra con uniones dentadas.....	86
Cuadro 4.14 Resultados del ensayo a tracción paralela a la fibra sin uniones dentadas.....	87
Cuadro 4.15 Tipos de falla de las uniones dentadas.....	90

Cuadro 5.1 Contenido de humedad y densidad básica según ensayo/ tipo de unión .....	92
Cuadro 5.2 Resultados de la resistencia a la flexión con y sin uniones dentadas.....	93
Cuadro 5.3 Relación entre los valores $f_{m,l,k}$ y $f_{m,j,k}$ .....	93
Cuadro 5.4 Comparación entre valores resistencia característica a la flexión utilizando MUF .....	93
Cuadro 5.5 Correlación entre resistencia a la flexión y esfuerzo cortante Máximo.....	95
Cuadro 5.6 Resultados de la resistencia a la flexión en función al tipo de falla...96	
Cuadro 5.7 Resultados de la resistencia a la tracción con y sin uniones dentadas.....	98
Cuadro 5.8 Relación entre los valores $f_{t,0,l,k}$ y $f_{t,0,j,k}$ .....	98
Cuadro 5.9 Comparación entre valores resistencia característica a tracción utilizando MUF .....	99
Cuadro 5.10 Resultados de la resistencia a la tracción en función al tipo de falla.....	101

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema referencial partes que componen una viga.....	22
Figura 2.2 Formas de laminación de una viga recta.....	23
Figura 2.3 Ejemplo de la construcción de una nave industrial.....	26
Figura 2.4 Pórticos triarticulados de madera laminada.....	28
Figura 2.5 Vigas curvadas de madera laminada. ....	28
Figura 2.6 Techos sol y sombra de madera laminada en el Centro Comercial Larcomar. ....	29
Figura 2.7 Cobertura de piscina temperada, La Molina.....	29
Figura 2.8 Distribución Geográfica de la madera Tornillo en el Perú.....	30
Figura 2.9 Apariencia de la madera Tornillo.....	31
Figura 2.10 Perfil de una unión dentada. ....	33
Figura 2.11 Tipos de uniones dentadas. ....	33
Figura 2.12 Esquema básico de una unión adhesiva. ....	34
Figura 2.13 Viga simplemente apoyada en flexión pura.....	36
Figura 2.14 Viga simplemente apoyada con región central en flexión pura y regiones extremas en flexión no uniforme. ....	36
Figura 2.15 Tramo de viga deformada. ....	37
Figura 2.16 Distribución de esfuerzos normales en la sección de viga. ....	38
Figura 2.17 Esfuerzos cortantes en una viga con sección transversal rectangular. ....	40
Figura 2.18 Piezas de Tornillo y Eucalipto sin defectos, dimensionadas y longitud variable. ....	42
Figura 2.19 Armado de láminas en seco.....	43
Figura 2.20 Separación entre láminas. ....	43
Figura 2.21 Medición de contenido de humedad con el xilohigrómetro. ....	44
Figura 2.22 Adhesivo MUF 1242 de 250 kg y endurecedor Hardener 2542 de 25 kg.....	45
Figura 2.23 Preparación, pesaje y mezclado homogéneo del MUF. ....	46
Figura 2.24 Formación del perfil dentado mediante la fresadora.....	47
Figura 2.25 Encolado manual con brocha de blocks para laminación.....	47
Figura 2.26 Unión de blocks mediante la juntadora. ....	48
Figura 2.27 Conformación de láminas. ....	48
Figura 2.28 Cepillado de las láminas usando la cepilladora. ....	49

Figura 2.29 Encolado de las láminas usando la encoladora mecánica de rodillos. ....	50
Figura 2.30 Colocación de láminas encoladas para su posterior prensado.....	50
Figura 2.31 Prensado de crucetas en las instalaciones de Postes Wise SAC....	51
Figura 2.32 Control de humedad y temperatura del ambiente de las crucetas....	52
Figura 2.33 Curado de las crucetas bajo techo.....	52
Figura 2.34 Dimensiones finales de las crucetas de madera laminada. ....	53
Figura 2.35 Preparación de probetas para los ensayos de delaminación. ....	54
Figura 2.36 Colocación de probetas en el autoclave.....	55
Figura 2.37 Delineado de las líneas de cola. ....	55
Figura 2.38 Ensayo de esfuerzo cortante en la Máquina Universal.....	56
Figura 2.39 Ensayo de resistencia a la flexión en la Máquina Universal Amsler.	57
Figura 3.1 Esquema de la distancia mínima entre la unión dentada y un nudo. .	58
Figura 3.2 Verificación de la geometría del perfil dentado mediante un vernier. .	59
Figura 3.3 Piezas de madera Tornillo habilitadas para la fabricación de probetas.....	60
Figura 3.4 Corte y formación del perfil dentado. ....	61
Figura 3.5 Cuchillas de la fresadora.....	61
Figura 3.6 Encolado de piezas.....	62
Figura 3.7 Unión de piezas. ....	62
Figura 3.8 Cepillado de final y obtención de probetas.....	63
Figura 4.1 Secado de las muestras en el horno eléctrico.....	66
Figura 4.2 Medición del volumen mediante una balanza.....	70
Figura 4.3 Máquina de ensayo AMSLER. ....	74
Figura 4.4 Configuración del ensayo a flexión estática. ....	74
Figura 4.5 Ensayo de flexión para uniones dentadas a 4 puntos. ....	75
Figura 4.6 Esquema de la aplicación de cargas en una viga simplemente apoyada. ....	76
Figura 4.7 Diagrama de momento y corte de la viga.....	76
Figura 4.8 Ubicación del eje neutro de una sección rectangular. ....	78
Figura 4.9 Distribución de los esfuerzos cortantes en una viga con sección rectangular.....	79
Figura 4.10 Probeta moldeada para ensayo de tracción paralela a la fibra. ....	82
Figura 4.11 Dimensión de la probeta para los ensayos de tracción en centímetros. ....	82

Figura 4.12 Máquina de ensayo ZWICK ROELL.....	83
Figura 4.13 Esquema general del ensayo a tracción paralela a la fibra. ....	84
Figura 4.14 Ensayo de tracción paralela a la fibra para uniones dentadas.....	84
Figura 4.15 Representación del diagrama de caja y bigote.....	91
Figura 5.1 fm, j, k del Tornillo en comparación a los requisitos de la norma EN 14080 y otras maderas encoladas con MUF. ....	94
Figura 5.2 Resistencia a flexión por tipo de falla. ....	97
Figura 5.3 ft, 0, j, k del Tornillo en comparación a los requisitos de la norma EN 14080 y otras maderas encoladas con MUF. ....	100
Figura 5.4 Resistencia a tracción por tipo de falla.....	101

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

<b>A</b>	Área de la sección transversal
<b>a</b>	Distancia entre el apoyo y la carga aplicada a L/3
<b>b</b>	Ancho de la probeta
<b>b<sub>t</sub></b>	Ancho de la punta del diente
<b>f<sub>m</sub></b>	Resistencia a la flexión
<b>f<sub>t,0</sub></b>	Resistencia a la tracción paralela a la fibra
<b>f<sub>m,g,k</sub></b>	Resistencia característica a la flexión de la viga
<b>f<sub>m,j,k</sub></b>	Resistencia característica a la flexión de la unión dentada
<b>f<sub>m,l,k</sub></b>	Resistencia característica a flexión de la lámina sin unión dentada
<b>f<sub>t,0,l,k</sub></b>	Resistencia característica a tracción paralela a la fibra de la lámina sin unión dentada
<b>f<sub>t,0,j,k</sub></b>	Resistencia característica a tracción paralela a la fibra de la unión dentada
<b>h</b>	Peralte de la probeta
<b>I</b>	Momento de inercia
<b>k</b>	Curvatura
<b>k<sub>s</sub> (n)</b>	Coeficiente utilizado para calcular propiedades características de resistencia
<b>L</b>	Luz de la probeta
<b>l</b>	Longitud entre mordazas para ensayo de tracción
<b>l<sub>j</sub></b>	Longitud del diente
<b>l<sub>t</sub></b>	Holgura en la punta del diente
<b>M</b>	Momento flector
<b>M<sub>máx</sub></b>	Momento máximo a la rotura
<b>m<sub>i</sub></b>	Valor individual de cada ensayo
<b>m<sub>k</sub></b>	Valor característico correspondiente al 5° percentil
<b>m<sub>1</sub></b>	Masa de la muestra antes del secado en estufa
<b>m<sub>2</sub></b>	Masa de la muestra después del secado en estufa
<b><math>\bar{m}</math></b>	Valor de la mediana de la muestra
<b>n</b>	Número de muestras ensayadas
<b>P<sub>máx</sub></b>	Carga máxima a la rotura
<b>P<sub>s</sub></b>	Peso de la muestra en estado seco

<b>p</b>	Paso
<b>Q</b>	Momento estático del área
<b>Q1</b>	Primer cuartil
<b>Q3</b>	Tercer cuartil
<b>r</b>	Radio de curvatura
<b>S<sub>y</sub></b>	Desviación estándar de la muestra
<b>V</b>	Volumen en estado saturado
<b>V<sub>máx</sub></b>	Fuerza cortante máxima
<b>W</b>	Momento resistente
<b>X<sub>máx</sub></b>	Valor máximo de la muestra
<b>X<sub>min</sub></b>	Valor mínimo de la muestra
<b>y</b>	Distancia a partir de la línea neutra
<b><math>\bar{y}</math></b>	Valor medio de la muestra
<b><math>\alpha</math></b>	Ángulo del perfil dentado
<b><math>\epsilon</math></b>	Deformación unitaria longitudinal
<b><math>\rho</math></b>	Densidad básica
<b><math>\rho_k</math></b>	Densidad básica característica
<b><math>\rho_m</math></b>	Densidad básica media
<b><math>\sigma</math></b>	Esfuerzo normal a flexión
<b><math>\sigma_{máx}</math></b>	Esfuerzo normal máximo
<b><math>\tau</math></b>	Esfuerzo cortante
<b><math>\tau_{máx}</math></b>	Esfuerzo cortante máximo
<b>AITIM</b>	Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de Madera
<b>CCL</b>	Cámara de comercio de Lima
<b>CH</b>	Contenido de humedad de la madera
<b>C.V</b>	Coeficiente de variación
<b>HR</b>	Humedad relativa del ambiente
<b>INIA</b>	Instituto Nacional de Investigación Agraria
<b>MLE</b>	Madera Laminada Encolada
<b>MOR</b>	Módulo de rotura
<b>MOE</b>	Módulo de Elasticidad
<b>MUF</b>	Melamina Úrea Formaldehído
<b>NBR</b>	Norma Brasileña.
<b>NTP</b>	Norma Técnica Peruana
<b>UNE-EN</b>	Una Norma Española – Norma Europea

<b>cm</b>	Centímetro
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetro cúbico
<b>g</b>	Gramo
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Gramo por metro cúbico
<b>g/m<sup>2</sup></b>	Gramo por metro cuadrado
<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo por centímetro cuadrado
<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo por metro cúbico
<b>MPa</b>	Mega Pascal
<b>mm</b>	Milímetro
<b>mm<sup>2</sup></b>	Milímetro cuadrado
<b>mm<sup>3</sup></b>	Milímetro cúbico
<b>mm/min</b>	Milímetro por minuto
<b>mm/s</b>	Milímetro por segundo
<b>N</b>	Newton
<b>N.mm</b>	Newton - milímetro
<b>Psi</b>	Libra fuerza por pulgada cuadrada

## **CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN**

### **1.1 GENERALIDADES**

La madera laminada encolada (MLE) es utilizada a nivel mundial como un material de construcción alternativo a los ya conocidos (concreto armado, acero y madera) por su facilidad en la fabricación de todo tipo de elementos estructurales, su resistencia al ataque de agentes químicos, al fuego, a la humedad. Comúnmente las especies más utilizadas para la fabricación de MLE son las coníferas (pino), y recientemente se están estudiando y usando maderas duras y semiduras en la industria del laminado.

Actualmente, el desarrollo e industrialización de la MLE se encamina como una alternativa de solución al problema de deforestación de los bosques, ya que mediante este proceso de fabricación se busca racionalizar y aprovechar el recurso maderero.

### **1.2 REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La deforestación es el principal problema que afecta a los bosques en el Perú. Casi 10 millones de hectáreas son deforestadas y anualmente se pierden 250 mil hectáreas más, esto es debido a las malas prácticas agrícolas (quema y tala de árboles) que como consecuencia han producido la degradación y erosión de los suelos. Por estas medidas tomadas por los agricultores se ha estimado que las pérdidas bordean los 2500 millones de dólares anuales y para frenar el problema económico ambiental, a nivel internacional se han presentado distintas propuestas para un manejo adecuado de los recursos madereros, a través de la plantación y explotación sostenida de los bosques [17].

Actualmente el diseño, construcción y montaje, así como una propia normativa para el desarrollo de elementos estructurales con madera laminada encolada; es usado de manera alternativa respecto a estructuras de concreto armado o acero, es muy difundido y desarrollado en países de Europa, Norteamérica y algunos países de la región como Argentina y Chile, obteniéndose construcciones de buena calidad. En el Perú la experiencia con este material es escasa, debido a que existen pocos estudios, normativa nacional y experiencias en ingeniería que produzcan las condiciones para el desarrollo de la madera laminada encolada. Adicionalmente el bajo nivel de industrialización de la madera y la dificultad de

encontrar madera maciza de gran longitud son los motivos por los cuales es necesario impulsar y difundir la investigación de esta tecnología utilizando maderas de la Amazonía Peruana [3], [14].

### **1.3 ANTECEDENTES**

#### **1.3.1 Antecedentes internacionales**

Para la fabricación de las piezas de madera laminada son esenciales los perfiles dentados de los elementos de la madera que forman la pieza. Gracias a estas uniones longitudinales se pueden sanear todos los defectos de la madera, principalmente los nudos, que son los puntos débiles en cuanto a la resistencia mecánica. En estas condiciones se pueden alcanzar características resistentes muy altas [1].

Las uniones longitudinales pueden ser de canto, biselado o dentadas. Las uniones dentadas son actualmente las más utilizadas debido a su menor consumo de madera en la fabricación y las uniones biseladas son tan eficaces como las uniones dentadas; sin embargo, son bastante costosas [28], [37].

Con el tiempo las uniones biseladas fueron sustituidas por las uniones dentadas, y se utilizaron por primera vez en una aplicación estructural por Egner y Jagfeld del Instituto Otto Graf en Stuttgart, Alemania [21]. Los estudios realizados por Demkoff han demostrado que actualmente para usar madera laminada de uso estructural, es trabajar con dientes de un largo de 12 a 15 mm [10]. Mientras que la norma UNE EN 14080 menciona que la longitud del diente debe ser superior a los 10mm para su uso estructural; también las especificaciones de la norma japonesa para la fabricación de MLE estructural menciona que para las láminas de borde exterior e intermedia, el largo del diente debe ser igual o mayor a 12mm y para las láminas interiores el largo debe ser mayor o igual a 10.5mm [12].

Muchos estudios indican que es importante escoger el tipo de adhesivo para la fabricación de elementos de uso estructural, los adecuados son los adhesivos de urea formaldehído, urea resorcinol y urea melanina. Por ejemplo para la elaboración de vigas, el uso de adhesivos a base de urea formaldehído es adecuado para elementos que no son expuestos a la intemperie, mientras que los de urea resorcinol son apropiados para elementos expuestos a la intemperie [10].

### 1.3.2 Antecedentes Nacionales

El uso de la madera laminada en el Perú tuvo sus inicios en la década de los 70, uno de los profesionales que desarrolló y construyó en distintos proyectos con este material fue el Arq. e Ing. Forestal Luis Takahashi [13].

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo general

- Evaluar el comportamiento de las uniones dentadas encoladas para la fabricación de vigas de madera laminada usando la madera Tornillo.

### 1.4.2 Objetivo específico

- Determinar la resistencia a flexión y tracción de las uniones dentadas encoladas, para definir la calidad del encolado.
- Comparar la resistencia a flexión y tracción de la madera Tornillo con uniones dentadas encoladas en relación a la madera maciza a flexión y tracción.

## 1.5 HIPÓTESIS

- Demostrar que el uso de uniones dentadas encoladas mejora el comportamiento estructural de la madera, siguiendo recomendaciones de los distintos estudios y normas para la fabricación de vigas de madera laminada encolada utilizando la madera Tornillo.

## 1.6 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo a los antecedentes presentados; en el Perú no se ha desarrollado del todo la industria de la madera laminada, por ello se espera que en algún momento se masifique el uso de las maderas nativas peruanas como material estructural para la fabricación de madera laminada; para este estudio se ha tomado como madera a la especie Tornillo, por ser una madera de buen acabado y muy usada en la industria de la construcción, se han planteado las siguientes interrogantes: ¿Cómo se comportan las uniones dentadas encoladas de madera Tornillo?, ¿Sería posible fabricar vigas de madera laminada con la madera Tornillo?, ¿Cuál será la resistencia a flexión y tracción de uniones dentadas encoladas de madera de Tornillo?, ¿Realmente se comportarán de modo similar las uniones dentadas encoladas a la madera maciza?. Estas interrogantes que se plantean serán respondidas en el desarrollo del trabajo de investigación.

## **1.7 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

La construcción con madera laminada encolada (MLE) ha sido escasa en el Perú, por ello se busca impulsar el desarrollo de la industria del laminado como una alternativa constructiva a las ya convencionales (concreto, acero, albañilería) y aprovechar el recurso maderero utilizando piezas cortas de madera para formar elementos estructurales de MLE de gran longitud. En el caso particular de las vigas de MLE es fundamental realizar un control de calidad adecuado de las uniones dentadas durante su fabricación, ya que de estas depende el comportamiento estructural final de las vigas.

## **1.8 ALCANCES Y LIMITACIONES**

En el presente trabajo de investigación se utilizará como materiales la madera Tornillo y el adhesivo MUF, se ensayaran probetas con uniones dentadas a flexión y tracción con la finalidad de evaluar la calidad de las uniones y obtener valores de resistencia.

El análisis experimental de los ensayos de resistencia a flexión de las vigas, esfuerzo cortante sobre las líneas de encolado, envejecimiento de las líneas de cola; no serán estudiados a profundidad.

## **CAPÍTULO II : FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **2.1 SITUACIÓN FORESTAL**

#### **2.1.1 Sector forestal en el Perú**

El Perú tiene un gran potencial forestal, puesto que cuenta con la segunda mayor superficie de bosques naturales de América Latina y la novena del mundo. Sin embargo, esta actividad económica solo representa menos del 1% del PBI nacional.

También las cifras indican que el sector forestal ha contratado a 250,000 personas de forma directa y ha exportado 390 millones de dólares en el año 2013, empleando solo 40000 hectáreas de un total de 106 millones. El 80.1% del total del territorio agrario nacional corresponde a tierras adecuadas para la producción forestal y tierras de protección; en cambio, solo el 5.9% está constituido por tierras adecuadas para cultivos, mientras que el 13.9% es favorable para pastos y ganadería. La baja participación del sector forestal en la economía peruana respondería al poco o nulo valor agregado en los diversos niveles de producción.

Es así que, de las 2500 especies forestales del Perú, cerca de 600 han sido clasificadas, y solo 195 de ellas aprovechadas, según indica la Cámara de Comercio de Lima (CCL) [25].

#### **2.1.2 Participación del sector forestal en la economía del Perú**

Las estadísticas presentadas por el Banco Central de Reserva del Perú y del Minagri en el año 2014, muestran que el valor de las exportaciones del Perú en el periodo 2000-2013 presentaron un crecimiento promedio anual de 16.2%. Sin embargo, el crecimiento promedio del valor de las exportaciones forestales fue de 9.9% durante el mismo periodo. El valor de las exportaciones forestales maderables tuvo un crecimiento promedio anual de 6.9%, mientras que el de las exportaciones forestales no maderables fue de 23.5%. Debe anotarse que ambos tipos de exportaciones forestales han mostrado un decrecimiento de 5.3% y 7.2%, respectivamente en el año 2013 [25].

### 2.1.3 Comparación del sector forestal peruano con los de otros países de la región

A continuación se presenta la situación del sector forestal en algunos países limítrofes con el Perú, para luego comparar sus índices más importantes. Tal como se muestra en el cuadro 2.1.

**Cuadro 2.1** Comparativo de índices forestales.

Expresado en millones de hectáreas	Chile	Perú	Ecuador	Colombia
Superficie	75.61	129.00	27.70	114.00
Bosques	16.21	73.00	19.84	60.70
Bosques naturales	13.78	56.00	19.66	51.30
Bosques de producción	13.78	38.00	1.96	5.50
Bosques de conservación	0.00	18.00	17.70	45.80
Plantaciones forestales	2.42	0.82	0.18	0.41
Contribución al PBI	2.5%	1.0%	2.0%	1.0%
Generación de empleo	4.0%	2.0%	8.0%	0.20%

Referencia: (Mendiola, 2016)

### 2.1.4 Clasificación de la madera

Se puede clasificar a la madera en 2 grandes grupos, se presentan a continuación:

#### 2.1.4.1 Maderas coníferas

Son árboles que se caracterizan por tener estructuras reproductivas en forma de conos. Las coníferas son las especies forestales dominantes en los climas fríos y de alta montaña; se les considera como los árboles más antiguos del planeta.

La mayoría de las maderas empleadas por el ser humano provienen de las coníferas debido a su facilidad para trabajar. Presentan diversos usos, tales como construcción de componentes estructurales, muebles, puertas, ventanas, etc. Entre las especies comerciales más conocidas están el abeto, el pino amarillo del sur, el pino Oregón [25].

#### 2.1.4.2 Maderas latifoliadas

Las maderas latifoliadas o frondosas son árboles que se caracterizan por tener estructuras reproductivas en forma de semillas encerradas en ovarios que tras la fertilización se desarrollan en frutos o plantas con flor. Las maderas de las

especies frondosas son, por lo general, más densas y duras que las de las coníferas.

Presentan diversos usos, tales como material de carpintería de interior, tarimas, parqués, etc. Entre las especies comerciales más conocidas están el roble, el nogal, el castaño [25].

## 2.2 MADERA LAMINADA ENCOLADA

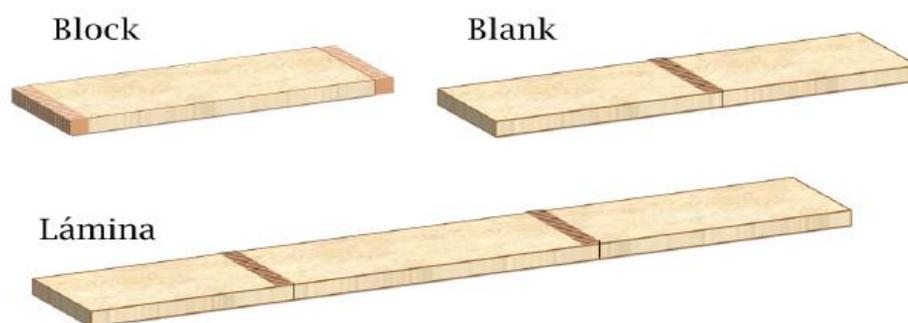
### 2.2.1 Definición de madera laminada encolada

Los elementos de madera laminada encolada (MLE) son piezas de sección transversal rectangular de ancho fijo, altura constante o variable y de eje recto o curvo, formados por tablas unidas entre sí, mediante uniones dentadas encoladas con un adhesivo previamente determinado [10].

#### 2.2.1.1 Descripción de los componentes de la viga de MLE

Para describir los componentes de la viga de MLE, la empresa Arauco S.A utiliza la siguiente nomenclatura:

Una viga de MLE se compone de piezas de madera de calidad predefinida conocidas como blocks (singular: block), a los cuales una máquina fresadora les realiza cortes en forma de dientes, formando así las uniones dentadas. La unión de dos blocks gracias a estos dientes previamente encolados, se les denomina blank (pl. blanks); y la unión de varios blocks y blanks, se le denomina lámina. Las que unidas transversalmente, por medio de la línea de cola, se les conocen como viga de MLE [9]. ver figura 2.1.



**Figura 2.1** Esquema referencial partes que componen una viga.

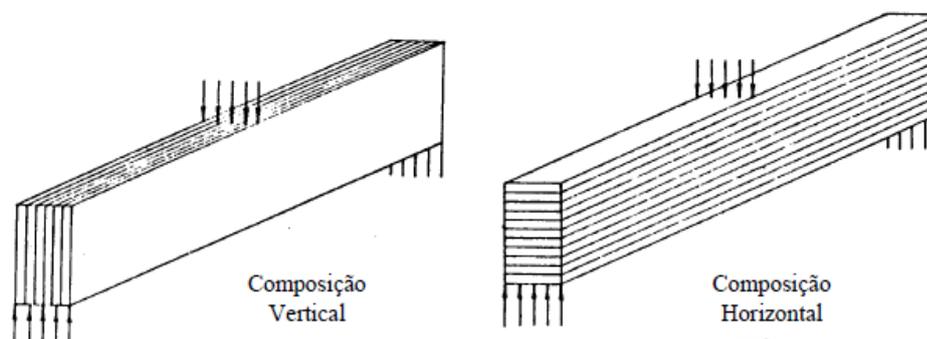
Referencia: (Donoso, 2016)

En este informe, se usará la terminología presentada en el trabajo de investigación de Donoso sobre “Producción de Vigas de Madera Laminada Encolada de alta capacidad resistente mediante la utilización de Madera Aserrada de Pino Radiata clasificada mecánicamente” para referirse a los componentes de la viga de madera laminada encolada.

### 2.2.1.2 Formas de laminación

Los elementos de madera laminada están conformados por un determinado número de láminas, que están ubicadas paralelamente al eje del elemento, cuyo espesor de láminas varía entre los 6 y 45 mm.

Por otra parte, existen diversas maneras de establecer una forma de laminación, por ejemplo si las láminas son paralelas al eje neutro de flexión del elemento, se dice que la laminación es “horizontal” y, cuando éstas son perpendiculares al eje neutro de flexión, se dice que la laminación es “vertical” [32], [36]. Ver figura 2.2.



**Figura 2.2** Formas de laminación de una viga recta.

Referencia: (Universidade federal do Parana, 2002)

### 2.2.2 Ventajas de la madera laminada encolada

- Facilidad en la construcción de grandes estructuras a partir de piezas cortas, para formar elementos estructurales de cualquier espesor, largo y ancho.
- Permite la reducción de grietas y otros defectos típicos de piezas de madera maciza.
- La fabricación de elementos de MLE permite el uso de láminas de menor calidad en las zonas de baja resistencia, esto es para hacerlo menos costoso, y utilizar la madera de mejor calidad sólo en las zonas de mayor esfuerzo.

- Permite obtener una buena resistencia a la acción del fuego, y resistencia a los agentes corrosivos.
- Los elementos laminados tienen una baja razón peso/resistencia, por lo cual pueden ser levantados y montados a bajo costo, y son elementos de buena apariencia arquitectónica [36].

### **2.2.3 Desventajas de la madera laminada encolada**

- Comparadas con la madera maciza, los elementos de MLE son más costosos, porque en su fabricación se necesita de equipos y técnicas especiales. Además se debe conocer el proceso y contar con mano de obra especializada.
- La pérdida de madera y adhesivo durante la fabricación de los elementos MLE es elevado, alrededor de un 33 a 50% [36].

### **2.2.4 Comparación de la madera laminada encolada respecto de otros materiales.**

A continuación se presenta en el siguiente cuadro 2.2 las características de la madera laminada encolada respecto a otros materiales de construcción usados convencionalmente.

**Cuadro 2.2** Comparativo de MLE respecto de otros materiales.

Características	Madera Laminada	Concreto	Acero
<b>Peso</b>	Ligera	Pesada	Menos pesado
<b>Puesta en Obra</b>	Rápida	Lenta	Rápida
<b>Cimentación</b>	Ligera	Pesada	Ligera
<b>Luces</b>	Grandes	Cortas	Intermedias
<b>Gasto de Energía de producción</b>	Como 1	16 veces mas	6 veces mas
<b>Acabado</b>	Natural, desde la salida de fábrica	Necesita acabado final, tarrajeo, pintura	Necesita revestimiento como acabo final
<b>Estética</b>	Agradable	No agradable	Media
<b>Esbeltez</b>	Buena	Pesada	Buena
<b>Ataque de Agentes externos</b>	Resistente a la corrosión, ataque de insectos, productos químicos	Muy resistente	Resistente a algunos productos químicos, requiere tratamiento contra la corrosión
<b>Comportamiento frente al fuego</b>	Resistente, no pierde rápidamente su resistencia bajo altas temperaturas	Colapso repentino a elevadas temperaturas	Colapso repentino a elevadas temperaturas
<b>Economía vs. Luz</b>	Económica para cubrir grandes luces	Antieconómica, si se incrementa la distancia a cubrir	Económica para grandes luces
<b>Comportamiento frente a la flexión, (para la misma carga resistida)</b>	Tiene un peso propio menor	Hasta 6 veces mas	5 a 10 veces mas

Referencia: (Bringas,2002)

### 2.2.5 Aplicaciones de la madera laminada encolada.

Las estructuras de madera laminada encolada tienen los siguientes usos:

- a) Vigas de luces de 30 a 70 m en edificios de uso público, comercial o deportivo.
- b) Vigas de luces moderadas de 8 a 14 m en construcciones pequeñas y medias (normalmente elementos prefabricados)

- c) Pilares
  - d) Estructura de cubierta de peso propio reducido.
  - e) Cuando se pretende un aspecto estético especial.
  - f) Cuando existe la necesidad de estructuras con elevada estabilidad al fuego.
- Normales: iglesias, gimnasios, polideportivos, piscinas, centros comerciales, hangares, fábricas, bodegas, puentes, etc.
  - Particulares: en ambientes agresivos y corrosivos, en los que otros materiales ven limitado su uso: piscinas techadas, plantas químicas, naves para uso de ganado, ambientes industriales agresivos, edificios en la costa marítima, etc.
- [44]. Un ejemplo de ello se observa en la figura 2.3.



**Figura 2.3** Ejemplo de la construcción de una nave industrial.

Referencia: <http://blogtecnicodelamadera.blogspot.pe/2011/02/estructura-de-madera-laminada-para-nave.html>

### 2.2.6 La Madera laminada en el Perú

El Arq. Luis Takahashi, fue uno de los primeros profesionales que desarrolló y ejecutó proyectos de ingeniería usando como material a la madera laminada encolada, su desarrollo se vio truncado por una serie de factores como el elevado costo de fabricación, mano de obra poco especializada, la insuficiente demanda del producto en la industria de la construcción, es por ello que la gran mayoría de profesionales en el Perú no conoce este sistema constructivo.

Finalmente, el poco desarrollo de la madera laminada en el Perú nos debe motivar a aprovechar la enorme riqueza maderera que se encuentra en nuestro territorio, y de este modo desarrollar la industria de la construcción de madera laminada encolada en diferentes regiones, en muchos casos es el material más acorde a su realidad [13].

#### **2.2.6.1 Maderas utilizadas en la fabricación de madera laminada encolada**

Técnicamente en el Perú existen maderas adecuadas para fabricar madera laminada encolada, prueba de ello es que uno de los primeros materiales usados por el Arq. Luis Takahashi fueron la madera Tornillo, Huayruro, Shihuahuaco y Lagarto Caspi [13].

#### **2.2.6.2 Proyectos ejecutados con madera laminada en el Perú**

Tomando como referencia a los proyectos realizados el Arq. Luis Takahashi con la madera laminada, Flores en su trabajo de investigación observó que estas obras tuvieron dificultades en el montaje, debido a que en ese tiempo se carecía de maquinaria que facilite dicha tarea, evidentemente el uso de la madera laminada no fue una primera opción para la ejecución de dichos proyectos por los costos elevados que demandaba inicialmente, pero el factor que determinó fueron los costos de mantenimiento, que con el tiempo terminaron siendo la mejor inversión a largo plazo [13].

A continuación se presentan algunas evidencias que muestran el desarrollo de la madera laminada en la ejecución de proyectos realizados por el Arq. Luis Takahashi [44]:

- a) En el año 1977, en la ciudad de Lima se construyó una nave para uso de reparación de autos; este almacén constaba de 8 pórticos triarticulados de 25m de luz. Ver figura 2.4.
- b) En el año 1978, en la ciudad de Lima se construyó la cobertura de restaurantes dentro del club ACENESPAR; utilizando vigas curvadas de 12m de longitud. Ver figura 2.5.
- c) En el año 1997, en la ciudad de Lima se construyó techos de sol y sombra en el centro comercial Larcomar; utilizando vigas de más de 24m de longitud. Ver figura 2.6.

- d) En el año 2010, en la ciudad de Lima se construyó la cobertura de una piscina temperada; en su ejecución se utilizaron vigas 11m de luz. Ver figura 2.7.



**Figura 2.4** Pórticos triarticulados de madera laminada.

Referencia: (Takahashi,2019)



**Figura 2.5** Vigas curvadas de madera laminada.

Referencia: (Takahashi,2019)



**Figura 2.6** Techos sol y sombra de madera laminada en el Centro Comercial Larcomar.  
Referencia: (Elaborado por el autor)



**Figura 2.7** Cobertura de piscina temperada, La Molina.  
Referencia: (Takahashi,2019)

## 2.3 TORNILLO (*Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke)

### 2.3.1 Identificación Botánica del Tornillo

Familia: Fabaceae.

Nombre científico: *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke.

Nombres comunes: “Tornillo”, “Pino peruano”, “Cedro hasha”, “Huayracaspi”, “Aguano” (Perú), “Cedrorana”, “Lacaiaca”, “Paric”, “Yacayac” (Brasil), “Don Cedar” (Surinam); “Guaura”, “Cahicana” (Venezuela).

Sinónimos Botánicos: *Piptadenia catenaeformis* Ducke, *Pithecellobium catenaeformis* (Ducke) L. Cárdenas [16].

### 2.3.2 Distribución Geográfica

Se encuentra distribuida en las regiones de Junín, Madre de Dios, Huánuco, Loreto y Ucayali, entre 100 a 1100 msnm. En la amazonia peruana, en el norte existe en grandes cantidades y en el sur en cantidades medias. A nivel internacional se distribuye en Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador [19]. Ver figura 2.8.



**Figura 2.8** Distribución Geográfica de la madera Tornillo en el Perú.

Referencia: <http://www.osinfor.gob.pe>

### 2.3.3 Características de la madera Tornillo

- Color: El tronco recién cortado presenta las capas externas de madera (albura) de color rosado y las capas internas (duramen) de color rojizo claro y de forma regular, observándose entre ambas capas un gradual contraste de color. Anillos de crecimiento indistintos. Veteado poco acentuado.
- Olor: El polvillo afecta las vías respiratorias.
- Brillo: Moderado a brillante.

- Grano Entrecruzado.
- Textura Gruesa.
- Densidad básica es de 0.45 g/cm<sup>3</sup>. [19]. Ver figura 2.9.



**Figura 2.9** Apariencia de la madera Tornillo.

Referencia: <http://www.remasa.com.pe>

El Tornillo es una especie de amplia distribución en el país y gran acogida en el mercado debido a sus buenas propiedades físico-mecánicas; representa el 19% de la producción nacional de madera aserrada en los últimos años. Es una madera que puede trabajarse con todo tipo de herramientas a mano o máquina sin dificultad; también presenta buen cepillado, torneado y taladrado, con un moldurado regular. Así mismo la madera de Tornillo es de duramen poco susceptible al ataque de hongos e insectos, teniendo una alta durabilidad natural [40].

#### **2.3.4 Usos de la madera Tornillo**

El Tornillo tiene los siguientes usos: Estructuras, construcciones livianas, carrocerías, muebles ordinarios, carpintería de obra (cielo raso, zócalo, ventanas, etc.), machihembrados y como sustituto del pino Oregón [19].

#### **2.3.5 Propiedades físicas y mecánicas de la madera Tornillo**

La madera Tornillo presenta las siguientes características. Ver cuadro 2.3

**Cuadro 2.3** Propiedades físicas y mecánicas de la madera Tornillo.

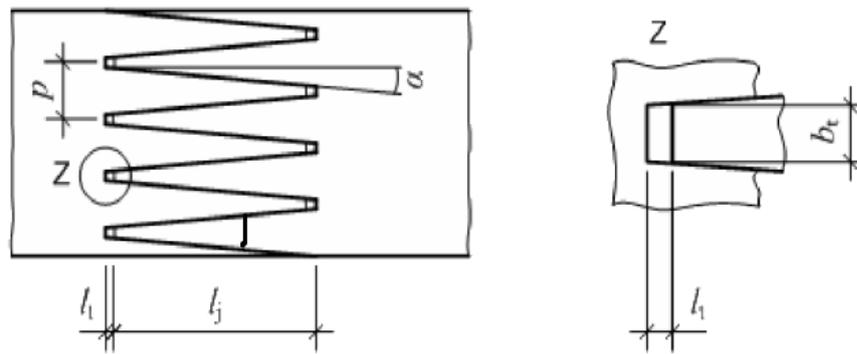
PROPIEDADES		UNIDADES	BOSQUE NATURAL (AROSTEGUI, 1982)		
Físicas	Contenido de humedad	%	14	Saturado	
	Densidad básica	g/cm <sup>3</sup>	-	0.45	
	Contracción volumétrica	%	-	10.7	
Mecánicas	Flexión estática	ELP	Kg/cm <sup>2</sup>	441	349
		MOR	Kg/cm <sup>2</sup>	788	576
		MOE x 1000	Kg/cm <sup>2</sup>	120	108
	Compresión paralela		Kg/cm <sup>2</sup>	386	283
	Compresión perpendicular		Kg/cm <sup>2</sup>	66	57
	Dureza	Extremos	Kg/cm <sup>2</sup>	454	351
		Lados	Kg/cm <sup>2</sup>	379	388
	Cizallamiento	Radial	Kg/cm <sup>2</sup>	89	81
		Tangencial	Kg/cm <sup>2</sup>		

Referencia: (Guerra, 2015)

## 2.4 UNIÓN DENTADA

En la industria de la MLE se hacía uso de uniones biseladas, pero por su elevado costo de fabricación, los investigadores empezaron a buscar otro tipo de unión es ahí que surgió una alternativa para reemplazarla con la denominada unión dentada que en la actualidad es más utilizado en la producción de elementos de MLE [23].

Las uniones dentadas llamadas también uniones “*Finger Joint*” normalmente son unidas mediante el uso de un adhesivo estructural al que se le ejerce comúnmente una presión mínima de 2 MPa (la presión varía si la madera es dura o blanda). Luego se deja en reposo para permitir la unión química entre perfiles dentados, y finalmente se obtenga la unión estructural adecuada. En la figura 2.10 en la que se indica la geometría de una unión dentada [10].



**Figura 2.10** Perfil de una unión dentada.

Referencia: (UNE-EN 14080, 2013)

Donde:

$l_j$  = Longitud del diente

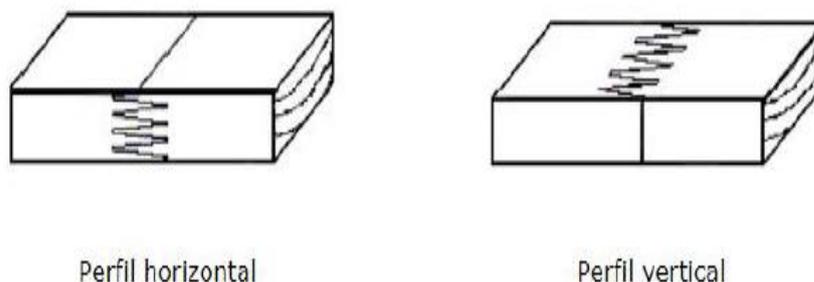
$p$  = Paso

$\alpha$  = Ángulo del perfil dentado

$l_1$  = Holgura en la punta del diente

$b_t$  = Ancho de la punta del diente

Actualmente se conocen dos tipos de uniones dentadas, vertical y horizontal, el perfil vertical se usa en Europa y el perfil horizontal en Estados Unidos, Canadá y Australia. Estudios han demostrado que los perfiles verticales presentan un mejor desempeño en flexión y tracción que los perfiles horizontales. La razón es que presenta una mayor área de encolado y una distribución más uniforme de la carga por todos los dientes de la unión, es por ello que la unión dentada vertical es más utilizada por los fabricantes [3]. Ver figura 2.11.



**Figura 2.11** Tipos de uniones dentadas.

Referencia: (Batista, Rodrigo, Calil, & Mariano, 2002)

## 2.5 ADHESIVOS

Independientemente del tipo de adhesivo que se utiliza, debe desarrollar la suficiente resistencia de pegado para mantener unidas las piezas de madera durante el tiempo de vida de la estructura; es importante que el adhesivo escogido sea capaz de fluir o esparcir sobre la superficie a pegar; transferirse a la otra superficie que se está pegando; minimizar el coste del producto final.

Es importante que el adhesivo utilizado en lo posible no debe alterar la coloración de la madera, para que el producto final posea una mejor apariencia arquitectónica [36].

### 2.5.1 Definiciones y terminología de adhesivos

El adhesivo es una sustancia que aplicada entre las superficies de dos materiales permite la unión resistente a la separación. También denominamos sustratos o adherentes a los materiales que pretendemos unir por medio de un adhesivo. [24], [36]. Ver figura 2.12.



Figura 2.12 Esquema básico de una unión adhesiva.

Referencia: (Madrid, 1997)

### 2.5.2 Tipos de adhesivos

Los adhesivos son clasificados en función del material con el que se va a realizar la unión, se distingue los siguientes adhesivos según su origen:

#### 2.5.2.1 Adhesivos inorgánicos

En este grupo se consideran al silicato sódico, cemento y yeso.

### **2.5.2.2 Adhesivos Orgánico**

Se clasifican en:

#### **a) Adhesivos o colas naturales.**

Se obtienen de animales (pieles, huesos, pescados, albúmina, caseína) y vegetales (almidón, semilla de soja).

#### **b) Adhesivos sintéticos**

Dentro de los adhesivos sintéticos, que son las que más se utilizan actualmente, son los siguientes:

##### **b.1) Adhesivos termoplásticos**

Son adhesivos que una vez endurecidos recobran su plasticidad por la acción del calor. Tienen resistencia al despegue entre buena y moderada.

- Emulsiones vinílicas: Por ejemplo tenemos los siguientes: acetato de polivinilo (PVAC), policloruro de vinilo (PVC), Acetato de vinilo y etileno (EVA), etc.
- Adhesivos termofusibles (hot - melt): El término termofusible define su forma de aplicación. Se entregan en forma de resina sólida, que se vuelven líquidas con la aplicación del calor y que se vuelven a endurecer cuando se enfrían.
- Adhesivos de caucho natural o sintético.
- Adhesivos de poliuretano.
- Adhesivos epoxídicos.
- Adhesivos mixtos de epoxi y poliuretano.

##### **b.2) Adhesivos termoestables**

Son adhesivos que una vez fraguadas no recobran su plasticidad por la acción del calor. Estos adhesivos son los más usados comercialmente para la fabricación de estructuras de madera laminada.

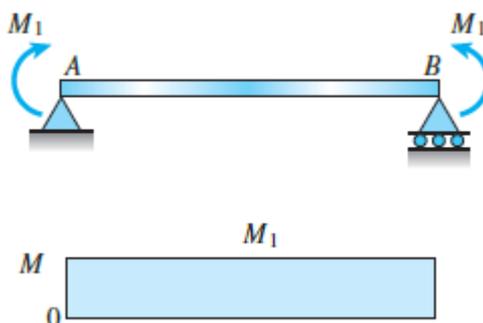
- Urea formaldehído (UF).
- Melamina Úrea Formaldehído (MUF).
- Melamina Fenol Formaldehído (MPF).
- Fenol Formaldehído (PF).
- Resorcina Formaldehído (RF)

- Resorcinol Fenol Formaldehído (PRF).
- Isocianato [20].

## 2.6 VIGAS: ASPECTOS GENERALES

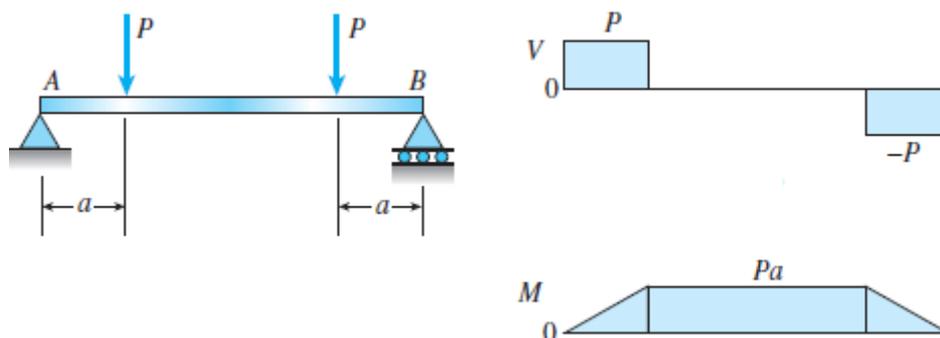
Cuando las cargas transversales actúan sobre una viga generan acciones internas (o resultantes de esfuerzos) en forma de fuerzas cortantes ( $V$ ) y momentos flectores ( $M$ ), ocasionando que esta se curve (o flexione) y deforme su eje en una curva. En el análisis de vigas, es necesario distinguir entre flexión pura y flexión no uniforme.

La flexión pura se refiere a la flexión en la viga sometida a un momento flector constante, que ocurre solo en zonas de la viga donde la fuerza cortante es cero (Figura 2.13). En contraste, la flexión no uniforme está referida a la flexión en presencia de fuerzas cortantes, lo que significa que el momento flector varía a lo largo del eje de la viga (Figura 2.14) [15].



**Figura 2.13** Viga simplemente apoyada en flexión pura.

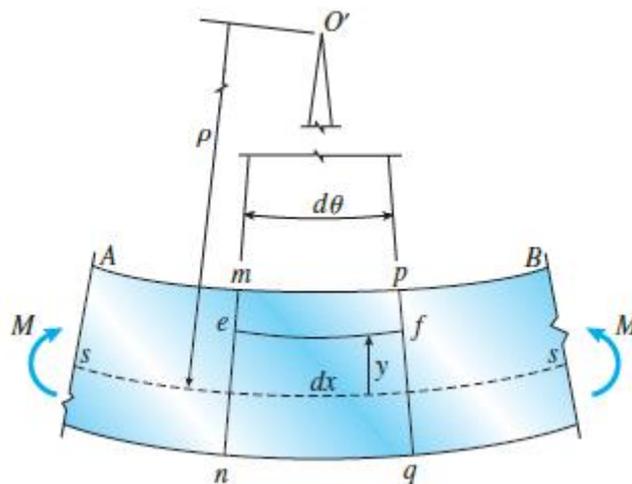
Referencia: (Gere, 2009)



**Figura 2.14** Viga simplemente apoyada con región central en flexión pura y regiones extremas en flexión no uniforme.

Referencia: (Gere, 2009)

Las deformaciones longitudinales en una viga se pueden determinar analizando la curvatura de la viga y las deformaciones correspondientes. Para este fin se considera una sección de viga en flexión pura sometida a momentos flectores cuyo efecto provoca que la parte inferior de la sección de viga se encuentre en tensión y la parte superior en compresión. En algún punto entre la parte superior y la inferior de la viga está una superficie en donde las líneas longitudinales no cambian su longitud y no están sometidas a esfuerzos se le denomina eje neutro de la viga. Ver Figura 2.15 [15].



**Figura 2.15** Tramo de viga deformada.

Referencia: (Gere, 2009)

Del análisis de la viga en flexión pura se deduce la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \frac{y}{r} = ky \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

- $\varepsilon$  : Deformación unitaria longitudinal.
- $y$  : Distancia a partir de la línea neutra.
- $r$  : Radio de curvatura.
- $k$  : Curvatura.

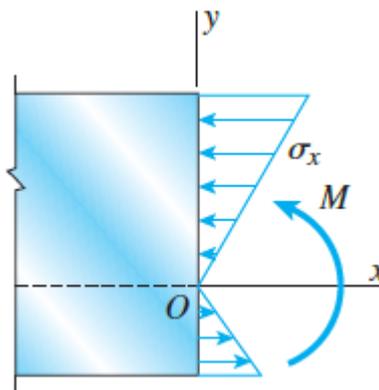
La relación esfuerzo-deformación unitaria más común encontrada en la ingeniería es la ecuación para un material linealmente elástico. Para esos materiales sustituimos la ley de Hooke para esfuerzo ( $\sigma = E\varepsilon$ ) en la Ecuación 1 y obtenemos la siguiente expresión:

$$\sigma = E\varepsilon = \frac{Ey}{r} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde  $E$  representa al módulo de elasticidad del material. Esta expresión nos dice varias cosas:

- El esfuerzo es directamente proporcional al módulo de elasticidad ( $E$ ).
- Mientras más alejada esté la fibra del eje neutro de la viga, mayor será el esfuerzo (depende de la distancia  $y$ ).
- El esfuerzo es inversamente proporcional a la curvatura ( $k$ ).

La ecuación además nos muestra que los esfuerzos normales varían linealmente a través de la sección transversal. Ver figura 2.16. [15], [38].



**Figura 2.16** Distribución de esfuerzos normales en la sección de viga.

Referencia: (Gere, 2009)

La ecuación 2 es útil para conocer la variación del esfuerzo, pero desde el punto de vista práctico no presta ninguna utilidad para calcular el esfuerzo puesto que no conocemos de antemano el radio de curvatura  $r$  de la viga. Por tanto, consideramos un elemento de área  $dA$  en la sección transversal. El elemento está ubicado a una distancia ( $y$ ) desde el eje neutro y, finalmente, el esfuerzo  $\sigma$  que actúa sobre el elemento se expresa de la siguiente manera [15], [38]:

$$\sum M = 0 \quad -M + \int y\sigma dA = 0$$

$$-M + \int y \frac{Ey}{r} dA = 0$$

$$-M + \int \frac{Ey^2}{r} dA = 0$$

$$-M + \frac{E}{r} \int y^2 dA = 0$$

Pero:  $\int y^2 dA = I$  (Momento de inercia del área)

Por tanto:

$$-M + \frac{EI}{r} = 0$$

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{EI} \quad (\text{Curvatura}) \quad (\text{Ec. 3})$$

Reemplazando la ecuación 3 en 2 se obtiene lo siguiente:

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (\text{Fórmula de la flexión})$$

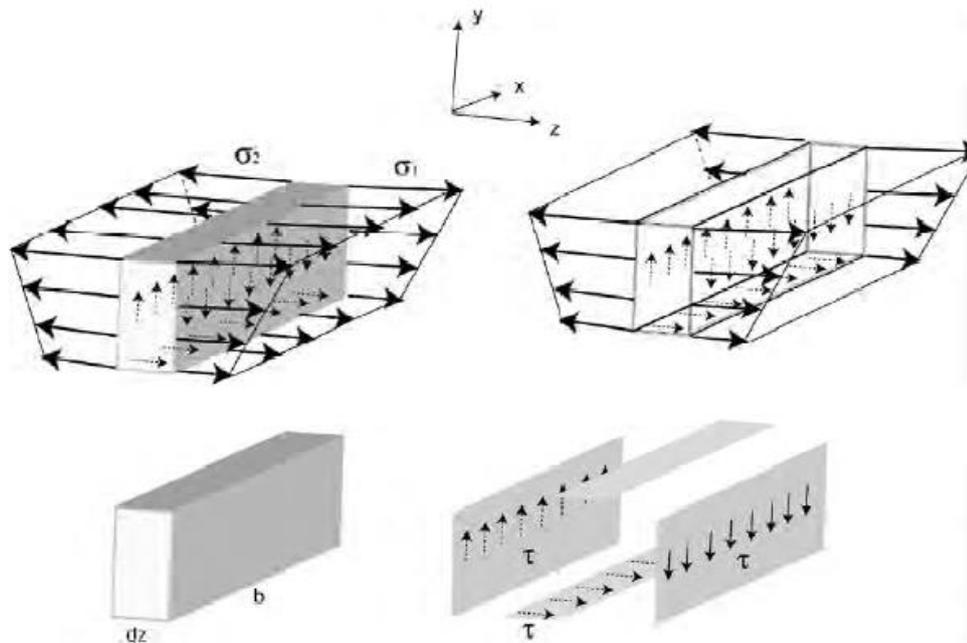
Donde:

- $\sigma$  : Esfuerzo normal a flexión.  
 $M$  : Momento flector.  
 $y$  : Distancia a partir de la línea neutra.  
 $I$  : Momento de inercia del área.

Cuando una viga es sometida a flexión pura, los únicos esfuerzos resultantes son los momentos flectores y normales que actúan sobre las secciones transversales.

Sin embargo, comúnmente las vigas se le someten cargas transversales producen efectos de corte.

Para obtener una expresión que interprete los esfuerzos cortantes horizontales, tomamos como cuerpo libre un elemento de viga situado de tal manera que su cara superior coincida con la parte superior de la viga. Ver figura 2.17. [15], [38].



**Figura 2.17** Esfuerzos cortantes en una viga con sección transversal rectangular.  
Referencia: (Salazar, 2007)

De manera que a partir del equilibrio de fuerzas se obtiene lo siguiente:

$$\sum F_z = 0 \quad -\tau b dz + \int \sigma_1 dA - \int \sigma_2 dA = 0$$

$$\tau = \frac{\int \sigma_1 dA - \int \sigma_2 dA}{b dz}$$

$$\tau = \frac{\int \frac{M_2 y}{I} dA - \int \frac{M_1 y}{I} dA}{b dz} = \frac{(M_2 - M_1) \int y dA}{I b dz}$$

Pero:

$$(M_2 - M_1) = dM \quad M_2 \text{ y } M_1 \quad \text{Están separados una distancia } dz$$

$$\int y dA = \bar{y}A = Q \quad \text{Momento estático del área. Recordar que:}$$

$$\bar{y} = \frac{\int y dA}{A} \quad \frac{dM}{dz} = V$$

La derivada del momento flector es igual a la fuerza cortante. Por lo tanto se obtiene la ecuación del esfuerzo cortante para una sección rectangular:

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \quad (\text{Fórmula de la cortante})$$

Donde:

- $\tau$  : Esfuerzo cortante.
- $V$  : Fuerza cortante.
- $Q$  : Momento estático del área.
- $I$  : Momento de inercia del área.
- $b$  : Ancho de viga.

## 2.7 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

Los requisitos de fabricación de la madera laminada encolada exigidos por la norma UNE-EN14080 fueron utilizados en el proyecto presentado por la empresa Postes Wise SAC, Universidad Nacional de Ingeniería y la Universidad Nacional Agraria La Molina denominado: “Elaboración de crucetas de madera laminada de Eucalipto (*Eucalyptus Grandis*), Tornillo (*Cedrelinga Cateniformis* D. Ducke) y Pinus Patula”. El autor del trabajo de investigación, fue invitado a las instalaciones de la empresa en mención a observar el proceso de elaboración de crucetas; se presenta a continuación una descripción del procedimiento seguido.

### 2.7.1 Condiciones ambientales de las instalaciones de fabricación

Se desarrolló en las instalaciones de la empresa Postes Wise SAC, ubicada en el distrito de Chaclacayo, en la ciudad de Lima, cuyas condiciones de temperatura y

humedad relativa del ambiente (HR) fueron las adecuadas para poder realizar la elaboración de crucetas de MLE, en promedio fueron de 20°C y 70% respectivamente.

### 2.7.2 Clasificación visual y saneado de la madera destinada a laminación

Para esta labor la empresa Postes Wise SAC, proporcionó cuarterones secos de madera para el laminado, el proceso de selección se realizó mediante clasificación visual que consiste en evaluar visualmente las piezas de madera que contengan defectos tales como nudos, rajaduras, perforaciones, alabeos, etc. y con el uso de una sierra circular se procedió a cortar y eliminar la madera que poseía defectos. Finalmente, se procedió a cepillar para emparejar la superficie de la madera, para obtener piezas uniformes y evitar desniveles entre piezas al momento de realizar el encolado. Ver figura 2.18



**Figura 2.18** Piezas de Tornillo y Eucalipto sin defectos, dimensionadas y longitud variable.  
Referencia: (Elaborado por el autor)

### 2.7.3 Armado de láminas en seco

En el proceso, se ordenaron las piezas de madera y en la parte inferior de las crucetas se colocaron piezas de mayor longitud que fueron mayores a 1 metro y las demás piezas no menores a los 40 cm como se indica en la figura 2.19.



**Figura 2.19** Armado de láminas en seco.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Finalmente el espaciamiento de uniones dentadas entre láminas adyacentes se ubicó a 10cm como mínimo [35], la distribución es como se indica en la figura 2.20.



**Figura 2.20** Separación entre láminas.

Referencia: (Elaborado por el autor)

#### 2.7.4 Medición del contenido de humedad

Distribuida cada pieza para el armado de la cruceta, se midió el contenido de humedad de cada block utilizando el xilohigrómetro de pines DELMHORST BD-2100 como se muestra en la figura 2.21, se anotó y codificó el valor de humedad de cada pieza obtenida y se revisó que la humedad de la madera este entre un

8% a 15%, además se comprobó que la variación del contenido de humedad a lo largo de una lámina no exceda el 3% y la diferencia entre láminas adyacentes no exceda el 5%.



**Figura 2.21** Medición de contenido de humedad con el xilohigrómetro.

Referencia: (Elaborado por el autor)

### 2.7.5 Elección del adhesivo

El adhesivo elegido para encolar las uniones dentadas y láminas de las crucetas fue la Melamina Úrea Formaldehído (MUF) fabricada por la empresa Akzo Nobel, que lo comercializa como MUF 1242/2542 (se presenta en los anexos del trabajo).

El MUF 1242/2542 está compuesto por la resina llamada Melanina Úrea Formaldehído 1242 (UF 1242) y el catalizador llamado Hardener 2542 (figura 2.22), también en el cuadro 2.4, se muestran las características del producto.



**Figura 2.22** Adhesivo MUF 1242 de 250 kg y endurecedor Hardener 2542 de 25 kg.  
Referencia: (Elaborado por el autor)

**Cuadro 2.4** Características del MUF 1242/2542

Características	MUF
<b>Color de la línea de cola</b>	Color beige claro, un color más claro y es menos visible, lo que estéticamente suele apreciarse más
<b>Propiedades de la línea de cola</b>	Cumple con los requerimientos de la norma EN 301 ( para uso tipo I y II, y servicios clase 1, 2, 3)
<b>Emisión de formol en el aire ppm/m<sup>2</sup></b>	0.05-0.06
<b>Olor</b>	Débil de formol
<b>Resistencia al agua</b>	Si
<b>Tipo de uso</b>	Exterior
<b>Resistencia al fuego</b>	Muy resistente
<b>Resistencia a la humedad</b>	Muy resistente
<b>Uso</b>	Sistema para vigas laminadas y finger joint de color claro en estructuras de madera portantes de carga.
<b>Tiempo de prensa</b>	10 horas
<b>Tiempo de vida</b>	1 hora y 30 minutos

Referencia: (Arbeláez, 2013)

En las especificaciones técnicas del fabricante, el tiempo de prensado está dado para una temperatura de 20°C y una proporción de mezcla es de 100:20 resina: catalizador. Para fabricar crucetas laminadas, el fabricante recomendó un

extendido entre 250 – 450 g/m<sup>2</sup>, se decide utilizar un gramaje de 300 g/m<sup>2</sup> para la producción de láminas y uniones dentadas. Finalmente el extendido de la cola se realizó con una encoladora mecánica de rodillos para las láminas, mientras que para el encolado de las uniones dentadas se realizó un encolado manual.

### 2.7.5.1 Preparación del adhesivo para el encolado

La empresa Akzo Nobel como fabricante y proveedor del MUF recomendó realizar la siguiente dosificación para obtener un buen rendimiento del producto:

#### Dosificación para la producción de crucetas:

- Resina MUF 1242 : **2.49 kg**
- Hardener 2542 : **0.51 kg**
- Total de MUF 1242/2542 : **3.00 kg**

Luego de obtener la cantidad de adhesivo se pesó cada componente que conforma el MUF 1242/2542 en una balanza digital, se preparó del siguiente modo: primero se pesó la resina MUF 1242, se le adicionó el catalizador Hardener 2542 hasta conseguir la cantidad requerida, finalmente se mezcló hasta que el adhesivo tome una apariencia homogénea. Ver figura 2.23.



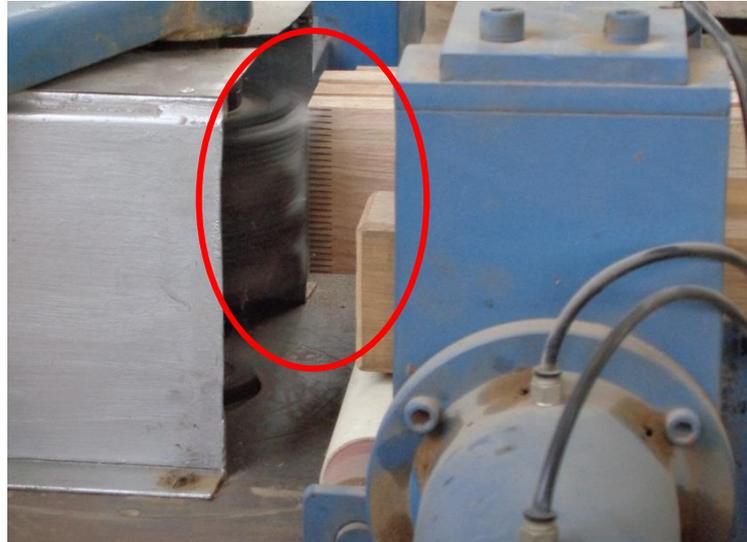
Figura 2.23 Preparación, pesaje y mezclado homogéneo del MUF.

Referencia: (Elaborado por el autor)

### 2.7.6 Formación de láminas con uniones dentadas

En esta etapa se fabricaron los perfiles dentados de 13mm de longitud para unir varios blocks y blanks para formar una lámina; se utilizó la fresadora (ver figura

2.24), luego de formar el perfil dentado se preparó el MUF 1242/2542 y se realizó el encolado manual con brocha hasta que este quede cubierto en su totalidad. Ver figura 2.25.



**Figura 2.24** Formación del perfil dentado mediante la fresadora.  
Referencia: (Elaborado por el autor)



**Figura 2.25** Encolado manual con brocha de blocks para laminación.  
Referencia: (Elaborado por el autor)

Después del encolado, se procedió a juntar los block encolados mediante la juntadora, aplicando una presión aproximada de 80 Psi (0,51 MPa), en este procedimiento se pudo comprobar que el encolado fue el adecuado porque se observó el rebose del adhesivo. Ver figura 2.26.



**Figura 2.26** Unión de blocks mediante la juntadora.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Finalmente se continuó encolando y juntando todos los blocks y blanks hasta obtener la lámina (ver figura 2.27), es importante tener en cuenta que si se fabrica los perfiles dentados, el encolado de estos se deben hacer inmediatamente, porque si se deja para el día siguiente los perfiles dentados sufren deformaciones, produciendo encolados deficientes. En tal sentido se recomienda cortar el perfil dentado y volver a fabricar otro.



**Figura 2.27** Conformación de láminas.

Referencia: (Elaborado por el autor)

### 2.7.7 Cepillado de láminas

Después de fabricar las láminas que conforman la cruceta se dejó secar por dos horas aproximadamente, se llevaron todas las láminas fabricadas a cepillar (ver figura 2.28). Finalmente se cepillaron las láminas en ambas caras hasta obtener el espesor de la lámina definitivo.



**Figura 2.28** Cepillado de las láminas usando la cepilladora.

Referencia: (Elaborado por el autor)

En el proceso de cepillado de láminas es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Es recomendable que una vez fabricadas las láminas y si han pasado más de 24 horas desde el cepillado, se procede a cepillarlas nuevamente, para evitar la adherencia de polvo en los poros recién abierto y evitar obtener líneas de cola de baja calidad.

### 2.7.8 Encolado de láminas

Previamente se preparó 3kg de MUF 1242/2542 recomendado por el fabricante para el encolado de láminas, mediante una encoladora de rodillo se impregnó el adhesivo en las láminas en una sola cara. Ver figura 2.29.



**Figura 2.29** Encolado de las láminas usando la encoladora mecánica de rodillos.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Finalmente se fueron colocando una lámina sobre otra hasta armar la cruceta, una vez armada se pasó a la etapa de prensado. Ver figura 2.30.



**Figura 2.30** Colocación de láminas encoladas para su posterior prensado.

Referencia: (Elaborado por el autor)

En el proceso de encolado de láminas y uniones dentadas es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Esta operación se tiene que realizar lo antes posible, para evitar que el adhesivo se endurezca antes de realizar el prensado o la junta de uniones dentadas. En el caso particular del MUF se realizó esta tarea en un tiempo menor a una hora y media.

### 2.7.9 Prensado

Para realizar el prensado de crucetas, la empresa Postes Wise SAC fabricó su propia prensa con manómetros para controlar en todo instante un adecuado prensado. Al término del mismo, se iniciaron los trabajos de laminado de crucetas.

En esta etapa del proceso se terminó de encolar y armar las crucetas (conformada por 4 láminas para cada cruceta) y se procedió a prensarlas aplicándole una presión uniforme de  $10 \text{ kg/cm}^2$  (1MPa) a lo largo de la longitud de crucetas (ver figura 2.31). Luego se dejó en la prensa durante diez horas controlando que la presión aplicada se mantenga constante.



**Figura 2.31** Prensado de crucetas en las instalaciones de Postes Wise SAC.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Esta actividad se efectuó bajo techo y controlando en todo momento la temperatura y humedad relativa del ambiente, mediante el Termohigrómetro CC040. Ver figura 2.32.



**Figura 2.32** Control de humedad y temperatura del ambiente de las crucetas.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Adicionalmente, el lagrimeo excesivo del adhesivo en el proceso del prensado llega a generar líneas de cola de baja calidad y poca resistencia, es por ello que se tuvo mucho cuidado al momento de impregnar cola y aplicarle presión.

### 2.7.10 Curado

Una vez terminada las diez horas de prensado se retiró de la prensa y se procedió al curado de las crucetas durante cinco días con la finalidad de desarrollar totalmente la resistencia de la línea de cola. Esta actividad se realizó bajo techo y se controló en todo momento la temperatura y humedad del ambiente. Ver figura 2.33.



**Figura 2.33** Curado de las crucetas bajo techo.

Referencia: (Elaborado por el autor)

### 2.7.11 Acabado y dimensiones finales

Terminado el tiempo de curado, se cepillaron y cortaron las crucetas por las 4 caras, para finalmente obtener las dimensiones finales de las crucetas, las cuales fueron de 90mm x 115 mm x 3000mm y 102mm x 127 mm x 3000mm. Ver figura 2.34.



**Figura 2.34** Dimensiones finales de las crucetas de madera laminada.

Referencia: (Elaborado por el autor)

### 2.7.12 Almacenaje y transporte

Se almacenaron las crucetas de madera laminada, bajo techo y controlando en todo momento la temperatura y la humedad relativa del ambiente. Posteriormente fueron transportados al Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la Universidad Nacional de Ingeniería para realizarle los ensayos de resistencia a flexión.

## 2.8 ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD

Terminada la fabricación de crucetas de madera laminada, se prepararon probetas que fueron llevadas a las instalaciones del Laboratorio de Preservación de la Madera y el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina, con el objeto de realizar ensayos basados en la norma UNE-EN 14080, verificando la calidad del encolado, de la siguiente manera:

### 2.8.1 Ensayos de delaminación

Conocido también como ensayos de envejecimiento. Este procedimiento de ensayo se basó en el anexo C de la norma UNE-EN 14080 y se utilizó el método B.

Para este ensayo se cortaron probetas de dimensiones iguales a la sección de las crucetas fabricadas (90mm x 115mm), (102mm x 127mm) y una altura de 75mm, ver la figura 2.35.



**Figura 2.35** Preparación de probetas para los ensayos de delaminación.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Lo primero que se hizo fue colocar las muestras en el autoclave (ver figura 2.36) para sumergirlas en agua a una temperatura de 20°C, y aplicarle un vacío de 75 kPa durante 30 minutos. Posteriormente se le quitó el vacío y se aplicó una presión de 600 kPa durante 2 horas. Después de terminar el ciclo de vacío - presión las muestras se secaron en un horno eléctrico durante doce horas a una temperatura de 70°C; finalmente se registraron las longitudes de apertura entre láminas.



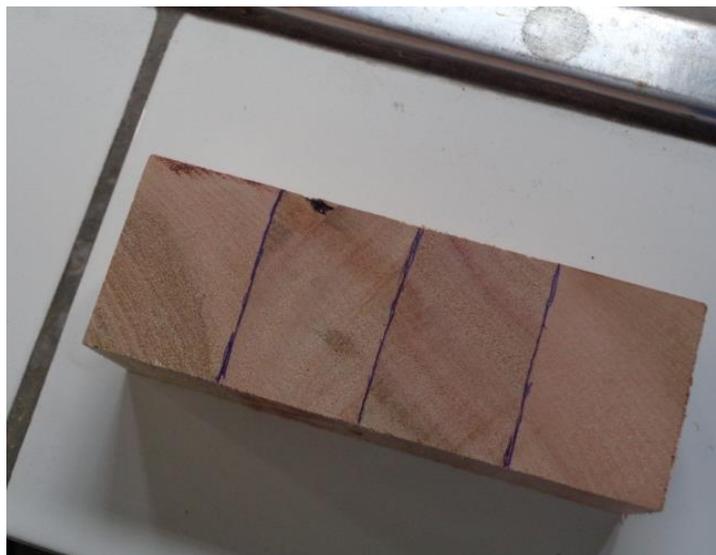
**Figura 2.36** Colocación de probetas en el autoclave.

Referencia: (Elaborado por el autor)

### 2.8.2 Ensayos de esfuerzo cortante sobre la línea de cola

Este ensayo se basó en el anexo D de la norma UNE- EN 14080.

Para este ensayo se cortaron probetas de dimensiones iguales a la sección de las crucetas fabricadas 50mm x 50mm y una altura de 115mm y 127mm, se marcaron las 3 líneas de cola en cada probeta. Ver figura 2.37.



**Figura 2.37** Delineado de las líneas de cola.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Posteriormente se realizó el ensayo en la Máquina Universal hasta producir la rotura en la línea de cola. Ver figura 2.38.



**Figura 2.38** Ensayo de esfuerzo cortante en la Máquina Universal.

Referencia: (Elaborado por el autor)

El ensayo de esfuerzo cortante se realizó por cada línea de cola, en nuestro caso fueron en las 3 líneas de cola. Finalmente se tomó nota de la fuerza máxima obtenida y se evaluó la falla de cada línea de cola.

## 2.9 ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN

Para este ensayo se utilizó la norma UNE-EN 408. Previamente, se determinó mediante ensayos de delaminación y esfuerzo cortante que la madera Tornillo tuviera una mejor adherencia al MUF, por ello se prepararon 80 crucetas de dimensiones 90mm x 115 mm x 3000mm y 102mm x 127 mm x 3000mm.

Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. Se colocó la cruceta sobre la Máquina Universal Amsler a la que se le aplicó una carga constante y una velocidad menor a los 0.35 mm/s. Ver figura 2.39.



**Figura 2.39** Ensayo de resistencia a la flexión en la Máquina Universal Amsler.

Referencia: (Elaborado por el autor)

## CAPÍTULO III : REQUISITOS PARA LAS UNIONES DENTADAS EN LA ELABORACIÓN DE VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA

Se elaboró vigas de madera laminada utilizando la madera Tornillo, cuyas dimensiones fabricadas fueron de 40mm x 140mm x 3000mm utilizando espesores de lámina de 35mm. De este lote se tomó piezas de madera para elaborar probetas con unión dentada de 40mm x 35mm de sección, siguiendo los requisitos del anexo I de la norma EN 14080, con la finalidad de evaluar, analizar y determinar los valores de resistencia de las uniones dentadas.

### 3.1 REQUISITOS EN LA FABRICACIÓN DE LAS UNIONES DENTADAS

#### 3.1.1 Nudos y defectos en la madera

La madera Tornillo no presentó daños en los cantos ni en la zona de unión, tampoco se encontraron nudos podridos o sueltos.

Se aceptaron nudos sanos con diámetros menores a 6mm en las láminas, en el caso de las uniones dentadas se aceptaron y controlaron que los nudos sanos estén fuera de la zona de unión, es decir que la distancia entre el perímetro de un nudo y la base de la unión no debe ser menor que 3 veces el diámetro del nudo  $d$ . Ver figura 3.1.

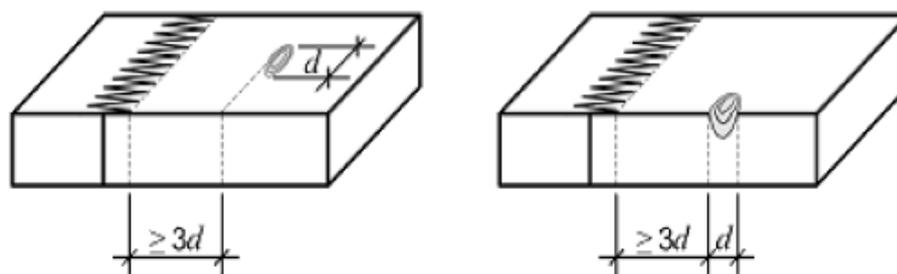
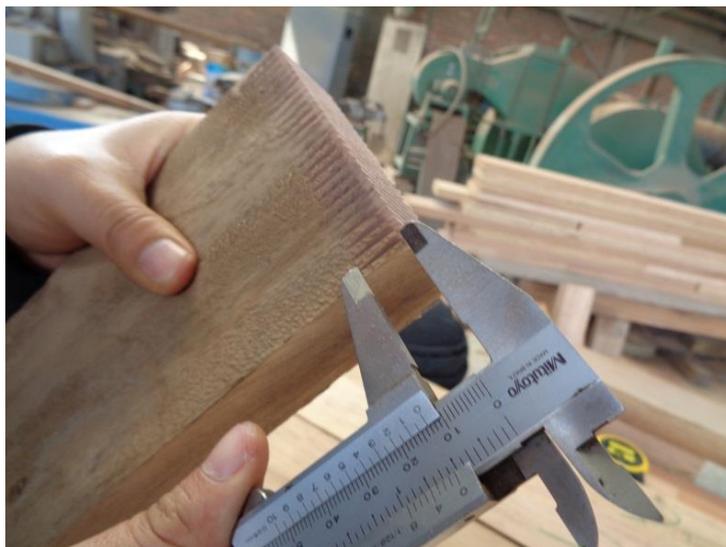


Figura 3.1 Esquema de la distancia mínima entre la unión dentada y un nudo.

Referencia: (UNE-EN 14080, 2013)

#### 3.1.2 Geometría del perfil dentado

Realizado el corte con la fresadora. En la figura 3.2, se verificó que el perfil dentado cumpla con lo indicado en el anexo I de la norma UNE- EN 14080.



**Figura 3.2** Verificación de la geometría del perfil dentado mediante un vernier.

Referencia: (Elaborado por el autor)

A continuación se presenta el cuadro 3.1, en el que se indica la geometría del perfil dentado obtenido, el que cumplió con lo indicado en la norma UNE- 14080

**Cuadro 3.1** Parámetros geométricos del perfil dentado

Postes Wise SAC.		
<b><math>l_j</math></b>	Longitud de diente	13mm
<b><math>p</math></b>	Paso	4.5mm
<b><math>b_t</math></b>	Ancho del diente	0.7mm

Referencia: (Elaborado por el autor)

### 3.1.3 Encolado de uniones dentadas

Obtenido el perfil dentado, se eligió realizarle encolado manual. El anexo I de la norma UNE- EN 14080 sugiere que para realizar un buen encolado, este proceso se comprueba observando el rebose del adhesivo en las cuatro caras de los dientes al momento de aplicarle la presión de ensamble.

### 3.1.4 Presión y curado de uniones dentadas

Por ser la madera Tornillo una madera blanda, los blocks formados se aplicaron una presión de ensamble mínima de 0.50MPa y con respecto al curado de la unión dentada encolada fue de cinco días. Condiciones recomendadas por el fabricante y proveedor del adhesivo MUF.

### 3.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROBETAS CON UNIÓN DENTADA

#### 3.2.1 Selección de las muestras

La muestra para la elaboración de probetas se obtuvo de las piezas de madera Tornillo destinadas a la fabricación de vigas de madera laminada. Se cortaron y habilitaron con una dimensión de 45mm x 40mm x 500mm (ancho, espesor, largo), en condición seca (ver figura 4.1), luego fueron encoladas con el adhesivo MUF 1242/2542; cabe señalar que el gramaje utilizado es el mismo con el que se fabricaron las vigas de madera laminada encolada (300 g/m<sup>2</sup>).



**Figura 3.3** Piezas de madera Tornillo habilitadas para la fabricación de probetas.

Referencia: (Elaborado por el autor)

A partir de estas piezas se elaboraron las probetas con uniones dentadas y sin uniones dentadas (maciza) para los ensayos mecánicos de flexión estática a 4 puntos y tracción paralela a la fibra. El detalle de las mismas se muestra en el cuadro 3.2.

**Cuadro 3.2** Muestras para la realización de ensayos mecánicos

Muestra	Ensayo mecánico	Tipo de unión	Cantidad
1	Flexión estática a 4 puntos	dentada	40
2	Flexión estática a 4 puntos	sin unión	40
3	Tracción paralela a la fibra	dentada	40
4	Tracción paralela a la fibra	sin unión	40

Referencia: (Elaborado por el autor)

### 3.2.2 Confección de las muestras

Para la fabricación de las probetas con uniones dentadas encoladas, lo primero que se hizo fue medir la humedad mediante el xilohigrómetro de pines DELMHORST BD-2100 de todas las piezas a encolar hallándose un contenido de humedad promedio de 12.8%. Una vez terminado de medir la humedad de las piezas de madera el operador de la fresadora realizó el corte y la formación del perfil dentado. Ver figura 3.4.



**Figura 3.4** Corte y formación del perfil dentado.

Referencia: (Elaborado por el autor)

La máquina fresadora que usó el operador consta de una cuchilla de alas con láminas de longitud 13mm, la que formó los perfiles dentados. Ver figura 3.5.



**Figura 3.5** Cuchillas de la fresadora.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Antes del encolado, se limpia el polvillo que queda atrapado en los dientes, y luego se le aplica el adhesivo mediante una brocha de 1 ½". Ver figura 3.6.



**Figura 3.6** Encolado de piezas.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Posteriormente se unen las piezas encoladas mediante la juntadora a una presión de 80 Psi (0.51Mpa) durante dos segundos. Con esta presión de ensamble no se observaron grietas. Ver figura 3.7.



**Figura 3.7** Unión de piezas.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Luego se dejaron secar las probetas durante dos horas aproximadamente, y se cepillaron las cuatro caras de las probetas. Como se muestra en la figura 3.8.



**Figura 3.8** Cepillado de final y obtención de probetas.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Finalmente se obtuvieron las probetas con uniones dentadas encoladas. Para los ensayos de flexión estática y tracción paralela a la fibra, también se fabricaron probetas de madera maciza las que servirán como puntos de control para compararlas con respecto a las que tienen uniones dentadas.

## **CAPÍTULO IV : ENSAYOS PARA LAS UNIONES DENTADAS ENCOLADAS**

### **4.1 DESARROLLO DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL**

Este capítulo tiene como objetivo describir los materiales y métodos de ensayo que se utilizaron para evaluar y determinar los valores de resistencia de las uniones dentadas en la fabricación de vigas de madera laminada encolada. Los ensayos mecánicos realizados fueron de flexión estática a 4 puntos y tracción paralela a la fibra.

Ambos métodos de ensayo son válidos y sólo con uno de ellos es suficiente para evaluar el comportamiento y calidad del encolado de las uniones dentadas, pero en el presente trabajo se realizaron ambos ensayos con la finalidad de presentar dos formas de evaluar y caracterizar a la unión dentada; se utilizó la madera Tornillo.

Durante la ejecución de los ensayos de flexión estática no se encontró dificultad, pero en los ensayos de tracción paralela a la fibra se hallaron problemas en la rotura de probetas, originalmente las dimensiones propuestas fueron de un ancho de 40mm, un espesor de 35mm y una longitud total de 700mm; en estas se obtuvieron fallas en las zonas de sujeción en lugar de conseguirlas en las zonas de unión dentada, debido a estas limitaciones impuestas por el equipo utilizado en los ensayos de tracción. Se optó por modificar las dimensiones y la geometría de las probetas con y sin unión dentada (ver figura 4.10), con el cambio realizado se pudo ejecutar el ensayo de tracción paralela a la fibra.

### **4.2 ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS**

#### **4.2.1 Ensayo para determinar el contenido de humedad**

La finalidad del ensayo fue determinar el contenido de humedad en las probetas con y sin unión dentada tomando como referencia la norma NTP 251.010.

El método usado fue mediante el secado por estufa, el cual consiste en determinar la humedad por medio de pesadas.

##### **4.2.1.1 Obtención de muestras**

Después de realizar los ensayos de flexión estática y tracción paralela a la fibra, se extrajeron muestras cercanas a las zonas de falla. Las dimensiones de las

muestras serán de 3cm x 3cm x 10cm y 4 cm x 2cm x 10cm para los ensayos de flexión y tracción paralela a la fibra respectivamente. La cantidad de muestras se indica a detalle en el cuadro 4.1.

**Cuadro 4.1** Muestras para determinar el contenido de humedad

Ensayo	Tipo de unión	Cantidad	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)
Flexión estática a 4 puntos	dentada	15	3	3	10
Flexión estática a 4 puntos	sin unión	15	3	3	10
Tracción paralela a la fibra	dentada	15	4	2	10
Tracción paralela a la fibra	sin unión	15	4	2	10

Referencia: (Elaborado por el autor)

#### **4.2.1.2 Equipos utilizados**

Para la determinación del contenido de humedad de las muestras se utilizaron los siguientes equipos:

- Balanza de la marca AND con capacidad máxima de 21 kg y una precisión de  $\pm 0.1g$ .
- Horno eléctrico de la marca Memmert, que garantice  $103^{\circ}C$  con una precisión de  $\pm 2^{\circ}C$ .

#### **4.2.1.3 Procedimiento de ensayo**

Se registró el peso inicial de las muestras, luego se introdujeron las muestras en el horno durante un tiempo menor a 24 horas o hasta verificar que las muestras posean un peso constante. La temperatura se incrementó gradualmente hasta alcanzar los  $103^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ , en la figura 4.1 se indica la disposición de las muestras en el horno. Finalmente se registró el peso en estado seco de cada muestra.



**Figura 4.1** Secado de las muestras en el horno eléctrico.

Referencia: (Elaborado por el autor)

#### **4.2.1.4 Expresión de los resultados**

Con los datos recopilados se procedió a calcular el contenido de humedad de cada muestra mediante la siguiente fórmula:

$$CH(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

Donde:

$CH$  : Contenido de humedad, %.

$m_1$  : Masa de la muestra antes del secado en estufa, g.

$m_2$  : Masa de la muestra después del secado en estufa, g.

A continuación se muestran en los cuadros 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5, resultados del contenido de humedad para los ensayos de flexión estática a 4 puntos y tracción paralela a la fibra con y sin unión dentada.

**Cuadro 4.2** Resultados del contenido de humedad del ensayo a flexión con uniones dentadas

Muestra	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	CH (%)
H-1-1	59.7	53.4	11.80
H-1-2	65.7	57.8	13.67
H-1-3	60.7	53.2	14.10
H-1-4	61.9	54.2	14.21
H-1-5	59.6	52.3	13.96
H-1-6	52.9	46.9	12.79
H-1-7	61.2	53.7	13.97
H-1-8	60.5	53.9	12.24
H-1-9	59.8	53.3	12.20
H-1-10	59.0	52.1	13.24
H-1-11	60.1	52.9	13.61
H-1-12	62.4	54.8	13.87
H-1-13	60.7	53.5	13.46
H-1-14	62.9	55.6	13.13
H-1-15	59.4	52.7	12.71

Referencia: (Elaborado por el autor)

**Cuadro 4.3** Resultados del contenido de humedad del ensayo a flexión sin uniones dentadas

Muestra	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	CH (%)
H-0-1	59.1	52.6	12.36
H-0-2	58.9	52.1	13.05
H-0-3	57.5	51.0	12.75
H-0-4	51.0	44.9	13.59
H-0-5	50.7	44.5	13.93
H-0-6	58.6	51.8	13.13
H-0-7	47.7	42.0	13.57
H-0-8	57.8	51.4	12.45
H-0-9	52.4	46.0	13.91
H-0-10	55.1	48.7	13.14
H-0-11	58.2	51.7	12.57
H-0-12	51.7	45.2	14.38
H-0-13	60.5	53.7	12.66
H-0-14	50.1	44.1	13.61
H-0-15	48.9	43.0	13.72

Referencia: (Elaborado por el autor)

**Cuadro 4.4** Resultados del contenido de humedad del ensayo a tracción con uniones dentadas

Muestra	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	CH (%)
H-1-16	47.4	42.0	12.86
H-1-17	42.8	37.8	13.23
H-1-18	50.5	44.9	12.47
H-1-19	51.2	45.4	12.78
H-1-20	54.7	49.0	11.63
H-1-21	50.8	45.2	12.39
H-1-22	53.2	47.1	12.95
H-1-23	54.1	48.0	12.71
H-1-24	53.0	46.9	13.01
H-1-25	50.0	44.4	12.61
H-1-26	51.0	45.2	12.83
H-1-27	52.4	46.6	12.45
H-1-28	52.9	47.1	12.31
H-1-29	48.4	42.8	13.08
H-1-30	55.2	49.4	11.74

Referencia: (Elaborado por el autor)

**Cuadro 4.5** Resultados del contenido de humedad del ensayo a tracción sin uniones dentadas

Muestra	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	CH (%)
H-0-16	45.5	40.1	13.47
H-0-17	46.8	41.4	13.04
H-0-18	52.7	46.8	12.61
H-0-19	45.2	40.0	13.00
H-0-20	53.4	47.5	12.42
H-0-21	46.1	40.8	12.99
H-0-22	56.7	50.3	12.72
H-0-23	53.5	47.4	12.87
H-0-24	46.7	41.3	13.08
H-0-25	53.8	48.0	12.08
H-0-26	52.9	46.9	12.79
H-0-27	42.6	37.6	13.30
H-0-28	53.8	47.7	12.79
H-0-29	51.0	45.5	12.09
H-0-30	46.2	41.0	12.68

Referencia: (Elaborado por el autor)

#### 4.2.2 Ensayo para la determinación de la densidad básica

La finalidad de este ensayo fue determinar la densidad básica de las probetas con y sin unión dentada tomando como referencia la norma NTP 251.011.

##### 4.2.2.1 Obtención de muestras

Después de realizar los ensayos de flexión estática y tracción paralela a la fibra, se extrajeron muestras cercanas a las zonas de falla. Las dimensiones de las muestras serán de 3cm x 3cm x 10cm y 4 cm x 2cm x 10cm para los ensayos de flexión y tracción paralela a la fibra respectivamente. La cantidad de muestras se detalla en el cuadro 4.6.

**Cuadro 4.6** Muestras para determinar la densidad básica

Ensayo	Tipo de unión	Cantidad	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)
Flexión estática a 4 puntos	dentada	15	3	3	10
Flexión estática a 4 puntos	sin unión	15	3	3	10
Tracción paralela a la fibra	dentada	15	4	2	10
Tracción paralela a la fibra	sin unión	15	4	2	10

Referencia: (Elaborado por el autor)

##### 4.2.2.2 Equipos Utilizados

Para la determinación de la densidad básica de las muestras se utilizaron los siguientes equipos:

- Balanza con capacidad máxima de 3 kg y una precisión de  $\pm 0.1g$ .
- Horno eléctrico de la marca Memmert, que garantice 103°C con una precisión de  $\pm 2^\circ C$ .
- Probeta de vidrio graduada, con la capacidad necesaria para introducir las muestras y determinar los volúmenes por inmersión en agua.

##### 4.2.2.3 Procedimiento de ensayo

Se sumergieron las muestras en una cubeta con agua destilada hasta que logren saturarse y alcancen un peso constante, se saturaron por 6 días; luego se sacaron las muestras saturadas y fueron secados superficialmente con una franela.

Seguidamente se registraron los volúmenes en estado saturado de cada una de las muestras saturadas utilizando una probeta de vidrio graduada de la siguiente manera:

- Se colocó la probeta graduada con agua destilada sobre la balanza y se anotó la lectura del peso inicial, luego se introdujo verticalmente el espécimen y con la ayuda de una aguja adherida a un brazo se consiguió mantener sumergida la muestra; después de un tiempo se anotó la lectura final del peso de la muestra sumergida en la probeta y la diferencia de lectura inicial y final representará el volumen del espécimen (la densidad del agua destilada es  $1\text{g/cm}^3$ )

La figura 4.2, muestra el procedimiento para medir el volumen por inmersión en agua. Obtenido el volumen se procedió a realizar el secado de las muestras en el horno eléctrico hasta alcanzar los  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , por un tiempo menor a las 24 horas o hasta verificar que la muestra presente un peso constante. Finalmente se registró el peso en estado seco de cada muestra.



**Figura 4.2** Medición del volumen mediante una balanza.

Referencia: (Elaborado por el autor)

**4.2.2.4 Expresión de los resultados**

Con los datos recopilados se procedió a calcular la densidad básica de cada muestra mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{P_s}{V}$$

Donde:

$\rho$  : Densidad básica, kg/m<sup>3</sup>.

$P_s$  : Peso de la muestra en estado seco, g.

$V$  : Volumen en estado saturado, cm<sup>3</sup>.

A continuación se presentan en los cuadros 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10, resultados de la densidad básica para los ensayos de flexión estática a 4 puntos y tracción paralela a la fibra con y sin unión dentada.

**Cuadro 4.7** Resultados de la densidad básica del ensayo a flexión con uniones dentadas

Muestra	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	Lec. inicial (cm <sup>3</sup> )	Lec. Final (cm <sup>3</sup> )	Vol. saturado (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
D-1-1	55.4	49.3	300.0	408.1	108.1	456.06
D-1-2	58.6	51.7	300.0	405.7	105.7	489.12
D-1-3	39.7	35.4	300.0	402.4	102.4	345.70
D-1-4	44.8	39.7	300.0	400.2	100.2	396.21
D-1-5	52.5	47.0	300.0	405.5	105.5	445.50
D-1-6	49.7	44.1	300.0	400.2	100.2	440.12
D-1-7	49.8	44.5	300.0	403.3	103.3	430.78
D-1-8	61.6	54.2	300.0	408.8	108.8	498.16
D-1-9	53.7	47.2	300.0	397.6	97.6	483.61
D-1-10	58.7	51.6	300.0	407.5	107.5	480.00
D-1-11	53.8	48.0	300.0	407.0	107.0	448.60
D-1-12	54.8	48.8	300.0	402.5	102.5	476.10
D-1-13	59.3	52.1	300.0	407.7	107.7	483.75
D-1-14	70.4	61.4	300.0	419.7	119.7	512.95
D-1-15	36.9	32.7	300.0	395.3	95.3	343.13

Referencia: (Elaborado por el autor)

**Cuadro 4.8** Resultados de la densidad básica del ensayo a flexión sin uniones dentadas

Muestra	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	Lec. inicial (cm <sup>3</sup> )	Lec. Final (cm <sup>3</sup> )	Vol. saturado (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
D-0-1	58.8	51.9	300.0	406.0	106.0	489.62
D-0-2	57.4	50.4	300.0	411.3	111.3	452.83
D-0-3	56.7	50.3	300.0	408.9	108.9	461.89
D-0-4	62.5	55.1	300.0	409.5	109.5	503.20
D-0-5	59.7	52.4	300.0	405.2	105.2	498.10
D-0-6	55.0	49.0	300.0	410.2	110.2	444.65
D-0-7	55.8	49.7	300.0	407.6	107.6	461.90
D-0-8	63.1	55.6	300.0	415.2	115.2	482.64
D-0-9	69.5	62.1	300.0	420.3	120.3	516.21
D-0-10	53.4	46.9	300.0	405.1	105.1	446.24
D-0-11	45.5	40.3	300.0	395.8	95.8	420.67
D-0-12	55.6	49.6	300.0	411.4	111.4	445.24
D-0-13	62.4	55.1	300.0	408.8	108.8	506.43
D-0-14	59.6	53.0	300.0	409.7	109.7	483.14
D-0-15	49.0	43.4	300.0	400.1	100.1	433.57

Referencia: (Elaborado por el autor)

**Cuadro 4.9** Resultados de la densidad básica del ensayo a tracción con uniones dentadas

Muestra	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	Lec. inicial (cm <sup>3</sup> )	Lec. Final (cm <sup>3</sup> )	Vol. saturado (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
D-1-16	44.2	39.0	300.0	385.9	85.9	454.02
D-1-17	44.0	38.8	300.0	380.2	80.2	483.79
D-1-18	45.3	40.6	300.0	386.4	86.4	469.91
D-1-19	51.1	45.9	300.0	400.1	100.1	458.54
D-1-20	54.3	48.1	300.0	406.2	106.2	452.92
D-1-21	47.4	41.9	300.0	388.0	88.0	476.14
D-1-22	57.7	51.4	300.0	410.0	110.0	467.27
D-1-23	51.7	46.3	300.0	402.1	102.1	453.48
D-1-24	46.6	41.0	300.0	390.5	90.5	453.04
D-1-25	49.7	44.5	300.0	389.1	89.1	499.44
D-1-26	51.6	45.7	300.0	406.2	106.2	430.32
D-1-27	39.5	35.5	300.0	383.3	83.3	426.17
D-1-28	49.7	44.1	300.0	398.5	98.5	447.72
D-1-29	55.5	49.2	300.0	408.7	108.7	452.62
D-1-30	46.6	41.8	300.0	402.0	102.0	409.80

Referencia: (Elaborado por el autor)

**Cuadro 4.10** Resultados de la densidad básica del ensayo a tracción con uniones dentadas

Muestra	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	Lec. inicial (cm <sup>3</sup> )	Lec. Final (cm <sup>3</sup> )	Vol. saturado (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
D-0-16	55.5	49.3	300.0	404.0	104.0	474.04
D-0-17	54.4	48.4	300.0	402.3	102.3	473.12
D-0-18	47.2	41.9	300.0	391.7	91.7	456.92
D-0-19	50.4	42.5	300.0	388.1	88.1	482.41
D-0-20	42.3	37.2	300.0	388.4	88.4	420.81
D-0-21	49.8	44.4	300.0	396.5	96.5	460.10
D-0-22	55.7	49.7	300.0	408.1	108.1	459.76
D-0-23	43.8	38.8	300.0	380.0	80.0	485.00
D-0-24	54.0	48.5	300.0	403.2	103.2	469.96
D-0-25	52.3	46.9	300.0	400.7	100.7	465.74
D-0-26	50.7	45.0	300.0	393.7	93.7	480.26
D-0-27	44.0	39.5	300.0	386.5	86.5	456.65
D-0-28	51.6	46.3	300.0	398.5	98.5	470.05
D-0-29	47.4	43.3	300.0	388.4	88.4	489.82
D-0-30	50.9	45.5	300.0	403.1	103.1	441.32

Referencia: (Elaborado por el autor)

### 4.3 ENSAYOS MECÁNICOS

#### 4.3.1 Ensayo de flexión estática a 4 puntos

En este ensayo se tomó en cuenta los procedimientos descritos en la norma UNE–EN 408.

##### 4.3.1.1 Equipo Utilizado

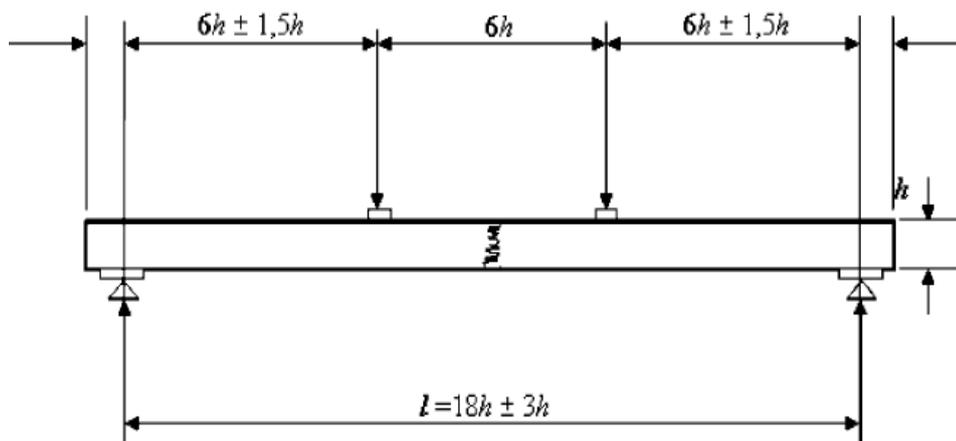
Los ensayos se ejecutaron en la Máquina Universal AMSLER cuya capacidad de carga es de 50000 kg, la duración del ensayo fue de  $60 \pm 15$  s y su rango de velocidad de aplicación de la carga varía entre los 4 mm/s a 6 mm/s. La figura 4.3, muestra el equipo utilizado.



**Figura 4.3** Máquina de ensayo AMSLER.  
Referencia: (Elaborado por el autor)

#### 4.3.1.2 Procedimiento de ensayo

Las probetas sometidas al ensayo de flexión estática fueron ubicadas con una separación entre apoyos igual a  $18h \pm 3h$  y cargados simétricamente a una distancia igual a  $6h \pm 1,5h$  de cada apoyo. La figura 4.4, muestra la disposición general de las muestras.



**Figura 4.4** Configuración del ensayo a flexión estática.  
Referencia: (UNE-EN 408, 2013)

Para nuestro caso las probetas fabricadas fueron de 40mm x 35mm x 700mm. Todas ellas con y sin unión dentada (unión ubicada en el centro).

Primero se colocó una probeta sobre los apoyos cilíndricos de la Máquina Universal AMSLER a una separación entre ejes de 630mm; luego se aplicaron las cargas simétricamente en los tercios de la luz, como lo muestra la figura 4.5, hasta que se produzca la rotura de la probeta; posteriormente se registró la carga máxima que produjo la rotura. Este procedimiento se repite para todas las probetas fabricadas.



**Figura 4.5** Ensayo de flexión para uniones dentadas a 4 puntos.

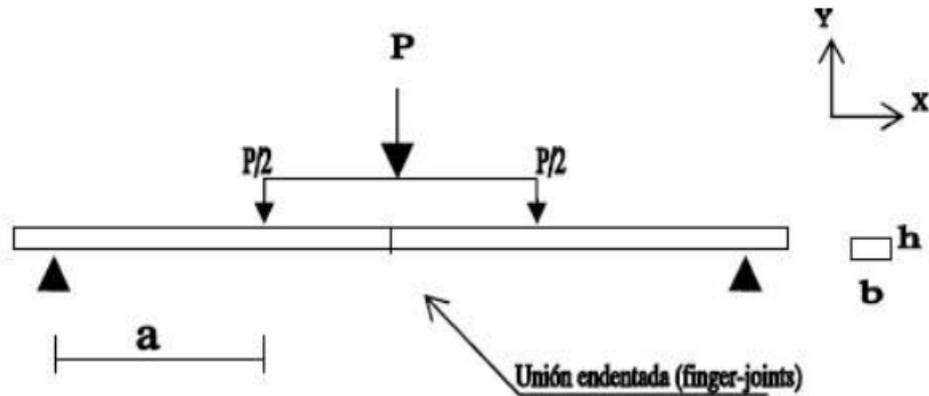
Referencia: (Elaborado por el autor)

Finalmente, se procedió a evaluar el tipo de falla de cada una de las uniones dentadas encoladas.

#### **4.3.1.3 Expresión de los resultados**

Con los datos obtenidos del ensayo a flexión se procedió a determinar la resistencia a la flexión.

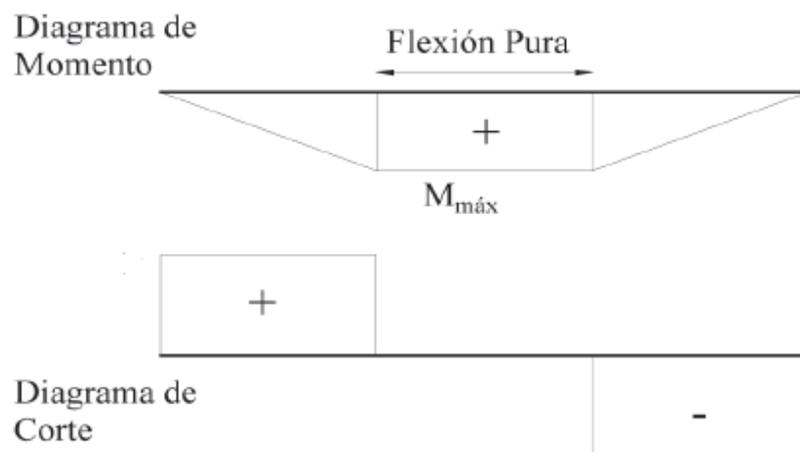
La resistencia a la flexión o Módulo de rotura a la flexión, se define como el esfuerzo normal máximo, debido a una carga aplicada hasta el límite de rotura. A partir de las expresiones deducidas del análisis estructural de una viga simplemente apoyada con dos cargas concentradas simétricas en los tercios de la luz. La figura 4.6, muestra la aplicación de las cargas y la disposición general en la viga.



**Figura 4.6** Esquema de la aplicación de cargas en una viga simplemente apoyada.

Referencia: (García & Muñoz, 2015 )

Para el cálculo de la resistencia a la flexión se realizó el diagrama de momento y corte:



**Figura 4.7** Diagrama de momento y corte de la viga.

Referencia: (Cárdenas, 2010)

De los diagramas se obtuvieron los valores de momento máximo ( $M_{m\acute{a}x}$ ) y cortante máximo ( $V_{m\acute{a}x}$ ):

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{P}{2} \quad ; \quad M_{m\acute{a}x} = \frac{P}{2} * a$$

A partir de la determinación del diagrama de momento flector se procedió a calcular los esfuerzos actuantes máximos:

Esfuerzo normal actuante: 
$$\sigma = \frac{My}{I}$$

$$\text{Esfuerzo normal máximo: } \sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x}y}{I}$$

Se sabe que la sección transversal de la probeta ensayada a flexión es rectangular, por simetría los esfuerzos máximos a tensión ( $\sigma_{\max T}$ ) y compresión ( $\sigma_{\max C}$ ) son iguales:

$$\sigma_{\max T} = \sigma_{\max C}$$

También se sabe que el momento de inercia (I) y la distancia del eje neutro a la fibra mas alejada (y). Para la sección rectangular ensayada es:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad ; \quad y = \frac{h}{2}$$

Entonces reemplazando obtenemos:

$$f_m = \sigma_{max} = \sigma_{\max T} = \sigma_{\max C} = \frac{M_{m\acute{a}x} y}{I} = \frac{\frac{P_{m\acute{a}x}}{2} * a * \frac{h}{2}}{\frac{bh^3}{12}}$$

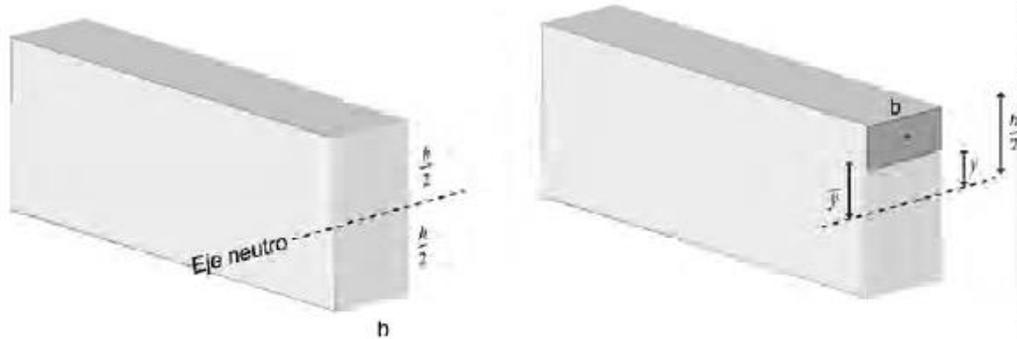
Finalmente obtenemos:

$$f_m = \frac{3P_{m\acute{a}x}a}{bh^2}$$

Donde:

- $f_m$  : Resistencia a la flexión, MPa.  
 $P_{m\acute{a}x}$  : Carga máxima a la rotura, N.  
 $L$  : Luz de la probeta, mm.  
 $a$  : Distancia entre el apoyo y la carga aplicada a L/3, mm.  
 $b$  : Ancho de la probeta, mm.  
 $h$  : Peralte de la probeta, mm.

Para el cálculo del esfuerzo cortante de la sección rectangular se ubicó la posición del eje neutro (Figura 4.8) de la probeta ensayada, a partir de allí se obtuvo lo siguiente:



**Figura 4.8** Ubicación del eje neutro de una sección rectangular.

Referencia: (Salazar, 2007)

En general:

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

Se sabe que:

$$V = \frac{P}{2} \quad ; \quad Q = \bar{y}A \quad ; \quad \bar{y} = \frac{1}{2}\left(y + \frac{h}{2}\right); \quad A = b\left(\frac{h}{2} - y\right)$$

$$Q = \frac{b\left(y + \frac{h}{2}\right)\left(\frac{h}{2} - y\right)}{2} = \frac{b\left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)}{2} \quad ; \quad \bar{I} = I = \frac{bh^3}{12}; \quad b = b$$

Por tanto el esfuerzo cortante para la sección rectangular se expresa así:

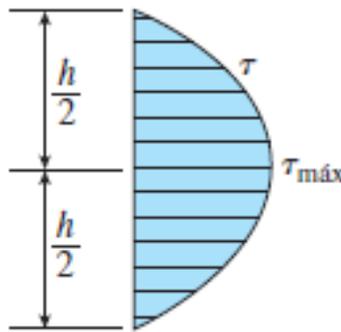
$$\tau = \frac{VQ}{Ib} = \frac{\left(\frac{P}{2}\right)b\left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)}{2\frac{bh^3}{12}b} = \frac{3P\left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)}{bh^3}$$

$$\tau = \frac{3P\left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)}{bh^3}$$

Además se calculó la variación de esfuerzos de la sección rectangular:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si; } y = \frac{h}{2}; \tau = \frac{3P \left( \frac{h^2}{4} - \left( \frac{h}{2} \right)^2 \right)}{bh^3} = 0 \\ \text{Si; } y = -\frac{h}{2}; \tau = \frac{3P \left( \frac{h^2}{4} - \left( -\frac{h}{2} \right)^2 \right)}{bh^3} = 0 \\ \text{Si ; } y = 0; \tau = \frac{3P \left( \frac{h^2}{4} \right)}{bh^3} = \frac{3P}{4bh} \end{array} \right.$$

Cuya variación de esfuerzos cortantes se muestra en la Figura 4.9, finalmente se obtuvo el esfuerzo cortante máximo



**Figura 4.9** Distribución de los esfuerzos cortantes en una viga con sección rectangular.

Referencia: (Gere, 2009)

Finalmente obtenemos:

$$\tau_{máx} = \frac{3P_{máx}}{4bh}$$

Donde:

$\tau_{máx}$  : Esfuerzo cortante máximo, MPa.

A continuación se presentan en los cuadros 4.11 y 4.12, resultados de resistencia a la flexión y esfuerzo cortante correspondientes a los ensayos a flexión estática a 4 puntos tanto para probetas con y sin uniones dentadas.

**Cuadro 4.11** Resultados del ensayo a flexión estática a 4 puntos con uniones dentadas

Codificación	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	a (mm)	$\tau_{m\acute{a}x}$ (MPa)	$f_m$ (MPa)	
							$\sigma_{m\acute{a}xT}$ (MPa)	$\sigma_{m\acute{a}xC}$ (MPa)
F-1-1	4412.97	39.92	35.09	630.00	210.00	2.36	56.56	56.56
F-1-2	4609.10	40.04	34.94	630.00	210.00	2.47	59.40	59.40
F-1-3	3824.57	40.01	34.92	630.00	210.00	2.05	49.39	49.39
F-1-4	5197.50	40.16	35.08	630.00	210.00	2.77	66.26	66.26
F-1-5	4118.77	40.04	35.24	630.00	210.00	2.19	52.18	52.18
F-1-6	3922.64	39.66	35.01	630.00	210.00	2.12	50.84	50.84
F-1-7	3922.64	39.84	34.90	630.00	210.00	2.12	50.93	50.93
F-1-8	4216.84	40.00	34.96	630.00	210.00	2.26	54.34	54.34
F-1-9	3628.44	40.05	35.02	630.00	210.00	1.94	46.54	46.54
F-1-10	5001.37	39.95	35.10	630.00	210.00	2.68	64.02	64.02
F-1-11	4314.90	40.09	35.13	630.00	210.00	2.30	54.94	54.94
F-1-12	3432.31	39.90	35.12	630.00	210.00	1.84	43.94	43.94
F-1-13	3922.64	39.93	34.82	630.00	210.00	2.12	51.05	51.05
F-1-14	4216.84	40.00	34.93	630.00	210.00	2.26	54.43	54.43
F-1-15	3922.64	39.89	35.11	630.00	210.00	2.10	50.26	50.26
F-1-16	2647.78	40.21	35.04	630.00	210.00	1.41	33.79	33.79
F-1-17	3432.31	39.92	35.02	630.00	210.00	1.84	44.17	44.17
F-1-18	2451.65	39.92	35.13	630.00	210.00	1.31	31.35	31.35
F-1-19	3922.64	39.96	35.17	630.00	210.00	2.09	50.00	50.00
F-1-20	3922.64	39.82	35.19	630.00	210.00	2.10	50.12	50.12
F-1-21	3726.51	39.97	35.06	630.00	210.00	1.99	47.78	47.78
F-1-22	4118.77	40.13	35.22	630.00	210.00	2.19	52.13	52.13
F-1-23	3922.64	40.05	34.96	630.00	210.00	2.10	50.49	50.49
F-1-24	3824.57	40.02	35.02	630.00	210.00	2.05	49.09	49.09
F-1-25	4412.97	40.11	35.00	630.00	210.00	2.36	56.58	56.58
F-1-26	4216.84	39.95	34.79	630.00	210.00	2.28	54.94	54.94
F-1-27	4118.77	40.17	35.10	630.00	210.00	2.19	52.43	52.43
F-1-28	4118.77	39.92	35.13	630.00	210.00	2.20	52.67	52.67
F-1-29	3824.57	40.01	34.84	630.00	210.00	2.06	49.61	49.61
F-1-30	5099.43	40.20	35.22	630.00	210.00	2.70	64.43	64.43
F-1-31	5197.50	40.11	35.14	630.00	210.00	2.77	66.11	66.11
F-1-32	4118.77	39.96	35.12	630.00	210.00	2.20	52.65	52.65
F-1-33	5393.63	40.32	35.00	630.00	210.00	2.87	68.80	68.80
F-1-34	4118.77	40.22	35.11	630.00	210.00	2.19	52.34	52.34
F-1-35	3432.31	39.97	34.97	630.00	210.00	1.84	44.24	44.24
F-1-36	3922.64	40.23	34.82	630.00	210.00	2.10	50.67	50.67
F-1-37	3922.64	40.27	35.16	630.00	210.00	2.08	49.64	49.64
F-1-38	2941.98	39.98	35.05	630.00	210.00	1.57	37.74	37.74
F-1-39	4118.77	40.08	35.22	630.00	210.00	2.19	52.19	52.19
F-1-40	3726.51	40.20	35.33	630.00	210.00	1.97	46.79	46.79

Referencia: (Elaborado por el autor)

**Cuadro 4.12** Resultados del ensayo a flexión estática a 4 puntos sin uniones dentadas

Codificación	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	a (mm)	$\tau_{m\acute{a}x}$ (MPa)	$f_m$ (MPa)	
							$\sigma_{m\acute{a}xT}$ (MPa)	$\sigma_{m\acute{a}xC}$ (MPa)
F-0-1	5883.96	39.95	35.13	630.00	210.00	3.14	75.19	75.19
F-0-2	6276.22	39.69	35.03	630.00	210.00	3.39	81.19	81.19
F-0-3	4216.84	39.82	35.10	630.00	210.00	2.26	54.15	54.15
F-0-4	5099.43	40.16	35.08	630.00	210.00	2.71	65.01	65.01
F-0-5	5883.96	39.83	35.12	630.00	210.00	3.15	75.46	75.46
F-0-6	6080.09	39.78	35.18	630.00	210.00	3.26	77.80	77.80
F-0-7	4020.71	40.21	35.15	630.00	210.00	2.13	50.99	50.99
F-0-8	4903.30	40.36	35.23	630.00	210.00	2.59	61.67	61.67
F-0-9	3922.64	40.16	34.82	630.00	210.00	2.10	50.75	50.75
F-0-10	2745.85	39.86	35.06	630.00	210.00	1.47	35.31	35.31
F-0-11	4412.97	39.58	34.94	630.00	210.00	2.39	57.54	57.54
F-0-12	5197.50	40.14	35.13	630.00	210.00	2.76	66.10	66.10
F-0-13	3922.64	39.85	35.12	630.00	210.00	2.10	50.28	50.28
F-0-14	5099.43	40.13	35.21	630.00	210.00	2.71	64.57	64.57
F-0-15	4314.90	40.02	34.83	630.00	210.00	2.32	55.99	55.99
F-0-16	3530.38	39.60	35.02	630.00	210.00	1.91	45.80	45.80
F-0-17	3922.64	40.33	35.08	630.00	210.00	2.08	49.79	49.79
F-0-18	4118.77	40.04	34.93	630.00	210.00	2.21	53.11	53.11
F-0-19	5785.89	40.23	35.16	630.00	210.00	3.07	73.29	73.29
F-0-20	2941.98	39.96	34.96	630.00	210.00	1.58	37.95	37.95
F-0-21	5589.76	39.96	35.19	630.00	210.00	2.98	71.17	71.17
F-0-22	4118.77	40.15	34.94	630.00	210.00	2.20	52.94	52.94
F-0-23	6276.22	40.30	35.20	630.00	210.00	3.32	79.19	79.19
F-0-24	2451.65	40.43	35.06	630.00	210.00	1.30	31.08	31.08
F-0-25	3628.44	39.87	35.19	630.00	210.00	1.94	46.30	46.30
F-0-26	5295.56	40.11	34.96	630.00	210.00	2.83	68.05	68.05
F-0-27	5295.56	39.77	35.04	630.00	210.00	2.85	68.32	68.32
F-0-28	3922.64	40.28	35.19	630.00	210.00	2.08	49.54	49.54
F-0-29	5589.76	40.05	34.84	630.00	210.00	3.00	72.44	72.44
F-0-30	6178.16	40.12	35.18	630.00	210.00	3.28	78.39	78.39
F-0-31	6864.62	39.87	35.22	630.00	210.00	3.67	87.44	87.44
F-0-32	5197.50	39.82	35.27	630.00	210.00	2.78	66.10	66.10
F-0-33	6276.22	40.16	35.13	630.00	210.00	3.34	79.78	79.78
F-0-34	5589.76	40.07	35.06	630.00	210.00	2.98	71.50	71.50
F-0-35	5197.50	40.12	35.24	630.00	210.00	2.76	65.72	65.72
F-0-36	5393.63	40.22	34.83	630.00	210.00	2.89	69.64	69.64
F-0-37	4511.04	40.07	35.01	630.00	210.00	2.41	57.86	57.86
F-0-38	4511.04	39.84	34.97	630.00	210.00	2.43	58.33	58.33
F-0-39	5982.03	40.14	35.16	630.00	210.00	3.18	75.95	75.95
F-0-40	5099.43	40.00	35.01	630.00	210.00	2.73	65.53	65.53

Referencia: (Elaborado por el autor)

### 4.3.2 Ensayo de tracción paralela a la fibra

Para el ensayo se tomaron como referencia las dimensiones de probeta descritas en la norma NBR 7190 y la metodología de ensayo presentado por Mohamad [27].

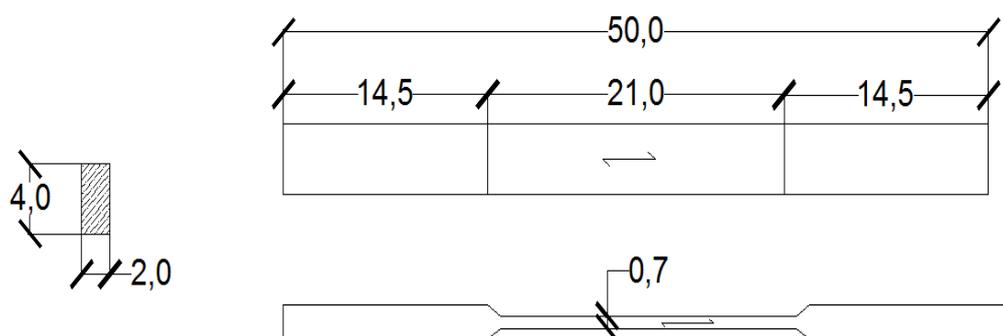
#### 4.3.2.1 Características de las probetas

Como se explicó anteriormente las muestras utilizadas son de madera con y sin unión dentada conforme a las figuras 4.10 y 4.11, moldeados exclusivamente para los ensayos tracción paralela a la fibra con geometría similar al mostrado en la norma NBR 7190.



**Figura 4.10** Probeta moldeada para ensayo de tracción paralela a la fibra.

Referencia: (Elaborado por el autor)



**Figura 4.11** Dimensión de la probeta para los ensayos de tracción en centímetros.

Referencia: (Elaborado por el autor)

#### 4.3.2.2 Equipo Utilizado

Los ensayos de tracción se ejecutaron en la Máquina Universal ZWICK ROELL, cuya capacidad de carga es de 1000 kN y la velocidad de carga axial fue de 2mm/min. La figura 4.12 muestra el equipo utilizado.



**Figura 4.12** Máquina de ensayo ZWICK ROELL.

Referencia: (Elaborado por el autor)

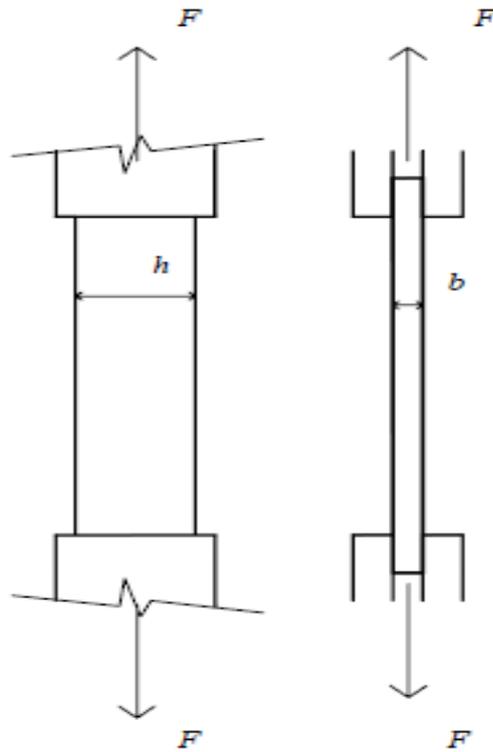
#### 4.3.2.3 Procedimiento de ensayo

Para realizar este ensayo la probeta es sujeta mediante una mordaza permitiendo tanto como sea posible la aplicación de una carga axial, sin provocar flexión. La figura 4.13, indica la disposición general de las muestras.

En el ensayo las probetas fabricadas son como se muestra en la figura 4.11, todas ellas con y sin unión dentada (unión ubicada en el centro).

Primero se sujetó una probeta a través de las mordazas de la Máquina Universal ZWICK ROELL, la separación entre mordazas fue de 210 mm. Luego se aplicaron las cargas axiales de manera creciente y constante, como lo muestra la figura 4.14, hasta producir la rotura de la probeta. Para manejar el equipo y registrar las

cargas máxima a la rotura se utilizó el software testXpert II. Este procedimiento se repite para todas las probetas fabricadas.



**Figura 4.13** Esquema general del ensayo a tracción paralela a la fibra.

Referencia: (UNE-EN 408, 2013)



**Figura 4.14** Ensayo de tracción paralela a la fibra para uniones dentadas.

Referencia: (Elaborado por el autor)

#### **4.3.2.4 Expresión de los resultados**

Con los datos obtenidos del ensayo a tracción se procedió a determinar la resistencia a la tracción paralela a la fibra.

La resistencia a la tracción paralela a la fibra o Módulo de rotura a la tracción, se define como el esfuerzo máximo producido, debido a una carga aplicada en dirección paralela a las fibras hasta el límite de rotura.

Se presenta la siguiente expresión:

$$f_{t,o} = \frac{P_{máx}}{A}$$

Donde:

$f_{t,o}$  : Resistencia a la tracción paralela a la fibra, MPa.

$P_{máx}$  : Carga máxima a la rotura, N.

$A$  : Área de la sección transversal, mm<sup>2</sup>.

A continuación se presentan en los cuadros 4.13 y 4.14, resultados de resistencia a la rotura correspondientes a los ensayos a tracción paralela a la fibra tanto para probetas con y sin uniones dentadas.

**Cuadro 4.13** Resultados del ensayo a tracción paralela a la fibra con uniones dentadas

Codificación	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	b (mm)	h (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	$f_{t,0}$ (MPa)
T-1-1	18172.44	39.90	6.91	275.71	65.91
T-1-2	25117.37	39.87	7.28	290.25	86.54
T-1-3	9561.78	40.04	6.96	278.68	34.31
T-1-4	20062.62	40.22	7.13	286.77	69.96
T-1-5	20186.58	40.18	6.94	278.85	72.39
T-1-6	20890.16	39.92	7.00	279.44	74.76
T-1-7	13575.40	40.13	7.09	284.52	47.71
T-1-8	20927.67	40.04	7.07	283.08	73.93
T-1-9	23227.99	39.95	6.97	278.45	83.42
T-1-10	17679.94	40.15	7.01	281.45	62.82
T-1-11	23571.90	40.01	7.16	286.47	82.28
T-1-12	6256.18	40.13	7.43	298.17	20.98
T-1-13	15815.78	40.24	7.31	294.15	53.77
T-1-14	19684.92	39.99	6.98	279.13	70.52
T-1-15	13337.89	40.00	7.05	282.00	47.30
T-1-16	24905.99	39.96	7.35	293.71	84.80
T-1-17	25504.95	40.11	7.15	286.79	88.93
T-1-18	18551.02	39.96	7.31	292.11	63.51
T-1-19	18573.84	40.20	7.06	283.81	65.44
T-1-20	19384.47	39.92	7.13	284.63	68.10
T-1-21	17533.47	40.01	6.90	276.07	63.51
T-1-22	14776.45	39.81	6.80	270.71	54.58
T-1-23	14061.98	39.89	7.11	283.62	49.58
T-1-24	17517.46	40.13	7.43	298.17	58.75
T-1-25	22501.44	40.02	7.22	288.94	77.87
T-1-26	14227.05	40.35	7.11	286.89	49.59
T-1-27	17024.57	40.12	6.99	280.44	60.71
T-1-28	24111.30	40.00	6.86	274.40	87.87
T-1-29	9402.28	40.21	6.94	279.06	33.69
T-1-30	23626.14	40.08	7.04	282.16	83.73
T-1-31	13377.54	40.13	7.00	280.91	47.62
T-1-32	17943.57	39.93	6.91	275.92	65.03
T-1-33	13605.65	40.14	7.04	282.59	48.15
T-1-34	12839.40	40.06	7.18	287.63	44.64
T-1-35	17590.36	39.89	7.10	283.22	62.11
T-1-36	15080.67	40.17	7.07	284.00	53.10
T-1-37	16107.17	40.02	7.26	290.55	55.44
T-1-38	23609.53	39.98	6.97	278.66	84.73
T-1-39	20793.09	40.03	6.89	275.81	75.39
T-1-40	26224.42	40.18	7.06	283.67	92.45

Referencia: (Elaborado por el autor)

**Cuadro 4.14** Resultados del ensayo a tracción paralela a la fibra sin uniones dentadas

Codificación	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	b (mm)	h (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	$f_{t,o}$ (MPa)
T-0-1	29641.61	39.90	7.30	291.27	101.77
T-0-2	20012.39	40.11	7.14	286.39	69.88
T-0-3	34845.96	39.95	6.92	276.45	126.05
T-0-4	34878.22	39.90	7.11	283.69	122.95
T-0-5	27646.11	40.26	7.18	289.07	95.64
T-0-6	27675.59	40.04	7.16	286.69	96.54
T-0-7	21604.67	40.30	7.15	288.15	74.98
T-0-8	19690.20	39.94	7.05	281.58	69.93
T-0-9	18679.08	39.96	7.25	289.71	64.48
T-0-10	30278.20	40.15	7.19	288.68	104.89
T-0-11	17337.59	40.00	6.96	278.40	62.28
T-0-12	30484.30	40.12	7.27	291.67	104.52
T-0-13	8367.51	40.16	7.35	295.18	28.35
T-0-14	16877.43	39.95	6.92	276.45	61.05
T-0-15	15218.58	40.08	7.31	292.98	51.94
T-0-16	17469.81	40.16	6.72	269.88	64.73
T-0-17	30598.46	40.31	7.01	282.57	108.29
T-0-18	36721.09	40.10	6.82	273.48	134.27
T-0-19	37176.82	39.92	6.93	276.65	134.38
T-0-20	20276.22	40.18	7.16	287.69	70.48
T-0-21	17548.78	40.30	7.04	283.71	61.85
T-0-22	19796.90	40.16	7.23	290.36	68.18
T-0-23	18944.62	40.25	7.11	286.18	66.20
T-0-24	42263.82	40.12	6.90	276.83	152.67
T-0-25	21708.92	40.22	6.94	279.13	77.77
T-0-26	18705.65	39.97	7.21	288.18	64.91
T-0-27	33307.08	40.17	7.02	281.99	118.11
T-0-28	16524.64	39.91	7.38	294.54	56.10
T-0-29	31043.13	40.21	7.05	283.48	109.51
T-0-30	26110.55	40.18	7.12	286.08	91.27
T-0-31	18979.44	40.06	6.81	272.81	69.57
T-0-32	29058.70	40.01	7.01	280.47	103.61
T-0-33	20655.22	39.98	7.27	290.65	71.06
T-0-34	26713.77	40.06	6.99	280.02	95.40
T-0-35	33270.33	40.14	7.11	285.40	116.58
T-0-36	13663.07	40.23	7.24	291.27	46.91
T-0-37	30844.15	39.90	7.00	279.30	110.43
T-0-38	29660.31	40.11	7.14	286.39	103.57
T-0-39	20932.68	40.05	6.92	277.15	75.53
T-0-40	30178.33	40.20	7.11	285.82	105.58

Referencia: (Elaborado por el autor)

### 4.3.3 Procedimiento de análisis de datos obtenidos en laboratorio

#### 4.3.3.1 Análisis estadístico

Después de realizar los ensayos de laboratorio, se obtuvieron los valores de resistencia a flexión y tracción, a partir de los mismos se procedió a determinar el valor característico asociado al 5° percentil en conformidad a la norma EN 14358.

Cabe mencionar que el valor característico asociado al 5° percentil está definido de acuerdo a la palabra “característico” y “5° percentil”, la primera hace alusión a una serie de datos teniendo en cuenta conceptos estadísticos tales como promedio, número de observaciones o desviación estándar. El segundo término “5° percentil” se refiere a que el 95% (100% - 5%) de los casos se obtendrán valores que estarán por sobre el valor característico. A continuación se muestra las fórmulas utilizadas en el trabajo [11].

Para obtener el valor característico asociado al 5° percentil se utilizaron las siguientes fórmulas.

Media:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln m_i \quad (\text{Ec.4})$$

Desviación estándar:

$$s_y = \text{máx} \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \ln(m_i - \bar{y})^2} \\ 0.05 \end{array} \right. \quad (\text{Ec.5})$$

Valor característico correspondiente al 5° percentil:

$$m_k = e^{(\bar{y} - k_s(n) * s_y)} \quad (\text{Ec.6})$$

En la ecuación (Ec.6) el valor de  $k_s(n)$  se calcula mediante la siguiente expresión:

$$k_s(n) = \frac{6.5n + 6}{3.7n - 3} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde:

$m_i$  : Valor individual de ensayo  $i$  de la variable aleatoria  $m$ .

$n$  : Número muestras ensayadas.

$\bar{y}$  : Media de la muestra.

$s_y$  : Desviación estándar de la muestra.

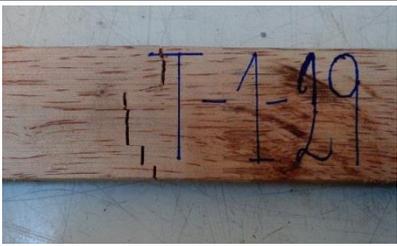
$m_k$  : Valor característico correspondiente al 5° percentil.

$k_s(n)$  : Coeficiente utilizado para calcular propiedades características de resistencia con  $p = 5\%$  y  $\alpha = 75\%$ .

#### 4.3.4 Tipos de falla de las uniones dentadas

Habiendo realizado los ensayos de flexión y tracción, se realizó la inspección visual a cada probeta ensayada para poder describir el tipo de falla que se produjo. Para esta tarea se tomó como criterio de evaluación de uniones dentadas los trabajos presentados por Lara- Bocanegra et.al. y Vega et.al. [22], [43] en el año 2017. Se muestra en el cuadro 4.15.

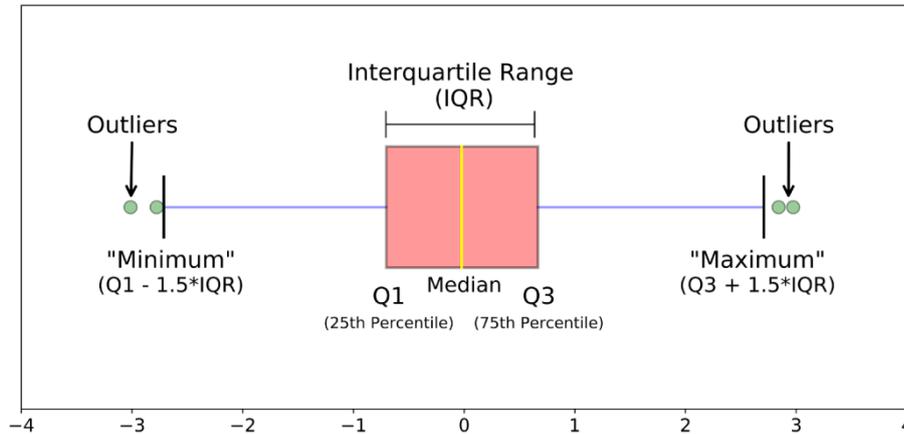
**Cuadro 4.15** Tipos de falla de las uniones dentadas

Tipo de falla	Descripción	
<p><b>Falla 1</b></p>	<p>Se produce cuando el 100% de las uniones dentadas fallan por madera.</p>	
<p><b>Falla 2</b></p>	<p>Se produce cuando un porcentaje de las uniones dentadas fallan por madera y adhesivo.</p>	
<p><b>Falla 3</b></p>	<p>Se produce cuando el 100% de las uniones dentadas fallan por adhesivo.</p>	
<p><b>Falla 4</b></p>	<p>Se produce en la base de las uniones dentadas y se extiende a lo largo de la pieza de madera.</p>	
<p><b>Falla 5</b></p>	<p>La rotura se produce fuera de la zona de unión.</p>	

Referencia: (Elaborado por el autor)

Después de evaluar e identificar el tipo de falla que le corresponde a cada probeta (presentados en los anexos del trabajo), se procedió a realizar el análisis del comportamiento de las uniones dentadas mediante los diagramas de caja y bigote. Se relacionaron las resistencias a flexión y tracción de las uniones dentadas en función del tipo de falla y el adhesivo utilizado en la fabricación de las vigas de madera laminada.

En este contexto los diagramas de caja y bigote, nos permiten describir varias características al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría de la muestra. La figura 4.15, muestra la representación del diagrama de caja y bigote.



**Figura 4.15** Representación del diagrama de caja y bigote.

Referencia: <https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2df7bcbd51>

Se observa, la caja representa el 50% de los datos de la muestra y están situados entre el primer cuartil (Q1) y el tercer cuartil (Q3); la mediana es representada como una barra dentro de la caja, también se identifica una línea que se extiende desde el tercer cuartil (75% de la muestra) hasta el mayor valor de la muestra y otra línea que se extiende desde el primer cuartil (25% de la muestra) hasta el menor valor de la muestra que se les conoce como bigotes y finalmente el valor atípico simboliza las informaciones que no están dentro de las regiones delimitadas por el menor y mayor valor de la muestra [26], [29].

## CAPÍTULO V : ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos realizados en laboratorio conforme a lo explicado en el capítulo anterior.

### 5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS

En el cuadro 5.1, se muestran los valores medios del contenido de humedad, densidad básica y densidad característica asociada al 5° percentil de la madera Tornillo encontrados en los ensayos de flexión estática a 4 puntos y tracción paralela a la fibra.

**Cuadro 5.1** Contenido de humedad y densidad básica según ensayo/ tipo de unión

Ensayo mecánico	Tipo de unión	CH media (%)	$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )
Flexión estática a 4 puntos	dentada	13.26	448.65	346.89
Flexión estática a 4 puntos	sin unión	13.25	469.75	411.89
Tracción paralela a la fibra	dentada	12.60	455.68	411.06
Tracción paralela a la fibra	sin unión	12.80	465.73	430.64

Referencia: (Elaborado por el autor)

Los resultados obtenidos muestran que la densidad básica media ( $\rho_m$ ) y característica ( $\rho_k$ ) hallada en promedio resulta ser 459.95 kg/m<sup>3</sup> y 400.12 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Referente al contenido de humedad los valores hallados se encuentran en el rango de 12.5 – 13.3%, cumpliendo con lo indicado en el anexo I de la norma EN 14080 donde los valores de contenido de humedad de las láminas que se usaron en la fabricación de las vigas de MLE están comprendidos entre 6- 15%.

### 5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS

#### 5.2.1 Análisis de valores de resistencia característica a flexión de las uniones dentadas

En el cuadro 5.2, se presentan los resultados más importantes correspondientes a los ensayos a flexión con y sin unión dentada cuyos valores son: medios ( $\bar{y}$ ), máximos ( $X_{m\acute{a}x}$ ), mínimos ( $X_{m\acute{i}n}$ ), desviación estándar ( $S_y$ ), coeficiente de variación (C.V), resistencia característica a la flexión de la lámina sin unión

dentada ( $f_{m,l,k}$ ), resistencia característica a la flexión de la unión dentada ( $f_{m,j,k}$ ) y densidad básica media ( $\rho_m$ ).

**Cuadro 5.2** Resultados de la resistencia a la flexión con y sin uniones dentadas

Tipo de unión	n	Resistencia a la flexión							$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )
		$\bar{y}$ (MPa)	$X_{m\acute{a}x}$ (MPa)	$X_{m\acute{i}n}$ (Mpa)	$S_y$ (Mpa)	C.V (%)	$f_{m,l,k}$ (MPa)	$f_{m,j,k}$ (Mpa)	
Sin unión	40	62.43	87.44	31.08	0.24	5.77	39.40	-	469.75
Dentada	40	51.64	68.80	31.35	0.16	4.04	-	38.11	448.65

Referencia: (Elaborado por el autor)

De los datos obtenidos, se compara la relación existente entre la resistencia a la flexión de las uniones dentadas encoladas con MUF y la resistencia a la flexión de las probetas sin unión dentada, en este proceso se encontró que las piezas sin uniones dentadas obtuvieron valores de resistencia más altos que las piezas con unión dentada tal como se muestra en el cuadro 5.3.

**Cuadro 5.3** Relación entre los valores  $f_{m,l,k}$  y  $f_{m,j,k}$

$f_{m,l,k}$ (MPa)	$f_{m,j,k}$ (MPa)	Eficiencia (%)
39.40	38.11	96.73

Referencia: (Elaborado por el autor)

Un ensayo similar de uniones dentadas encoladas con MUF fue estudiada por Sanango [39] con la especie Eucalyptus Globulus, encontró un valor de  $f_{m,j,k}$  de 41.91 MPa y estableció como punto de control el valor de  $f_{m,l,k}$  de 79.59 MPa.

Finalmente, se presenta en el cuadro 5.4, los valores de resistencia a la flexión de las uniones dentadas encoladas con MUF y los valores de resistencia a la flexión de la madera maciza de la especie Tornillo en comparación a lo obtenido en el estudio de la especie Eucalyptus Globulus.

**Cuadro 5.4** Comparación entre valores resistencia característica a la flexión utilizando MUF

Fuente	Especies	$f_{m,l,k}$ (MPa)	$f_{m,j,k}$ (MPa)	Eficiencia (%)
Cruzatt, 2019	Tornillo	39.40	38.11	96.73
Sanango, 2017	Eucalyptus Globulus	79.59	41.91	52.66

Referencia: (Elaborado por el autor)

Se observa que el valor de resistencia de las uniones dentadas de Tornillo representan el 96.73% del valor de resistencia de las láminas de Tornillo sin unión dentada, esto se traduce como una buena transferencia de esfuerzos a flexión; sin embargo el valor de resistencia de las uniones dentadas de la especie Eucalyptus Globulus solo representan el 52.66% del valor de resistencia de las láminas de Eucalyptus Globulus sin unión dentada. De esto se infiere que la relación Tornillo – MUF es buena, porque siendo el Tornillo una madera blanda y porosa hace que el adhesivo penetre la madera y al fraguar esta funcione como una soldadura entre superficies.

### 5.2.2 Análisis comparativo de los resultados a flexión de las uniones dentadas con respecto a estudios similares

En la figura 5.1, se comparan los valores de resistencia característica a flexión de las uniones dentadas de Tornillo con los requisitos de resistencia de las uniones dentadas de madera blanda especificada en la norma europea EN 14080 [32], de igual modo con los valores de resistencia característica a flexión de las uniones dentadas con MUF de las especies Eucalyptus Globulus y Pino Radiata [11], [39].

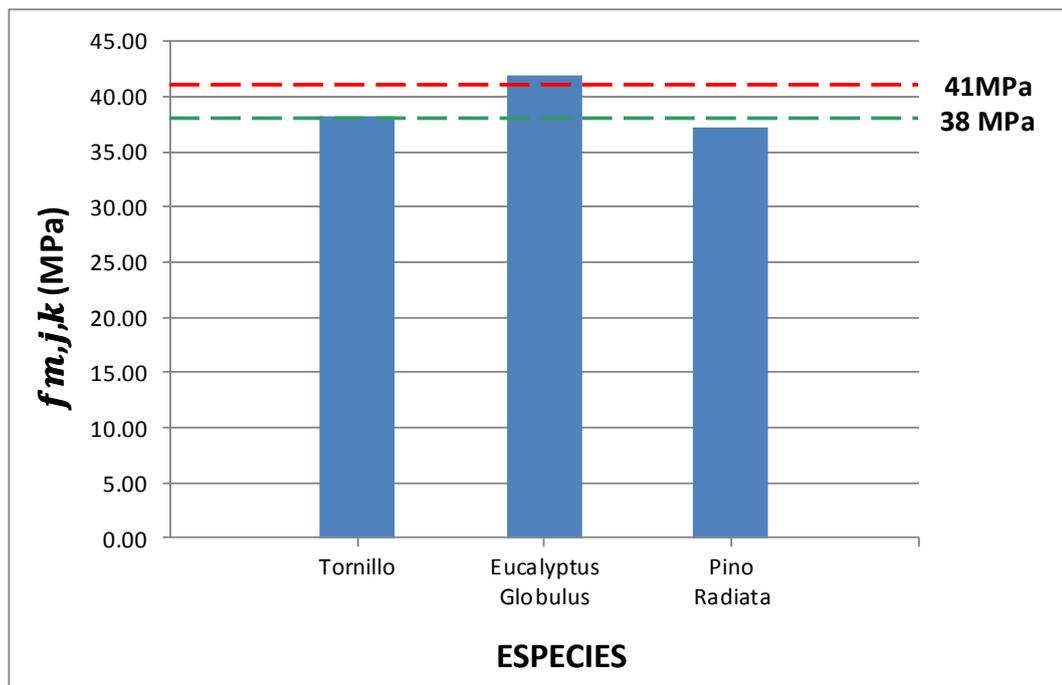


Figura 5.1  $f_{m,j,k}$  del Tornillo en comparación a los requisitos de la norma EN 14080 y otras maderas encoladas con MUF.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Como se puede observar en la figura 5.1, el valor de  $f_{m,j,k}$  del Tornillo (38.11 MPa) no logra superar al valor de resistencia a flexión de 41 MPa requerida para la clase más alta de resistencia de madera blanda; sin embargo el  $f_{m,j,k}$  obtenido para el Tornillo es similar a la resistencia mínima a flexión de las uniones dentadas de láminas (38 MPa) encontrada en la norma EN 14080. En relación al valor de  $f_{m,j,k}$  del Tornillo este logra superar al valor de  $f_{m,j,k}$  de la especie Pino Radiata (37.2 MPa) en solo 2.39%; sin embargo el valor de  $f_{m,j,k}$  de la especie Eucalyptus Globulus (41.91 MPa) supera al valor de  $f_{m,j,k}$  del Tornillo en 9.07%.

### 5.2.3 Análisis de los resultados de los esfuerzos cortantes máximos por flexión de las uniones dentadas

En el cuadro 5.5 se presentan los resultados más importantes correspondientes a los efectos de esfuerzo cortante: valores medios a la flexión con y sin unión dentada ( $\bar{y}$ ), esfuerzo cortante máximo medio con unión dentada ( $\tau_{m\acute{a}x,d}$ ), esfuerzo cortante máximo medio sin unión dentada ( $\tau_{m\acute{a}x,sd}$ ).

**Cuadro 5.5** Correlación entre resistencia a la flexión y esfuerzo cortante máximo

Esfuerzos/ correlación		Tipo de unión	Valores medios
Flexión	$\bar{y}$ (MPa)	Sin unión	62.43
		Dentada	51.64
Cortante	$\tau_{m\acute{a}x,sd}$ (Mpa)	Sin unión	2.61
	$\tau_{m\acute{a}x,d}$ (Mpa)	Dentada	2.16
$\left(\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\bar{y}}\right)$	(%)	Sin unión	4.18
		Dentada	4.17

Referencia: (Elaborado por el autor)

De los resultados obtenidos, se observa que la relación entre  $\tau_{m\acute{a}x,d}$  y  $\tau_{m\acute{a}x,sd}$  son similares entre sí, esto lleva a suponer que el efecto del esfuerzo cortante no es determinante en vigas con uniones dentadas o macizas, asimismo se encontró para ambos casos, que el esfuerzo cortante representa el 4.17% de la resistencia a la flexión. En consecuencia, aunque el esfuerzo cortante máximo posee un valor bajo, no es un efecto que condicione en el diseño de vigas.

Finalmente se puede inferir que el esfuerzo cortante máximo encontrado está en el rango de 4% a 10% de la resistencia a la flexión en vigas de madera [15].

### 5.2.4 Análisis del tipo de falla a flexión de las uniones dentadas

En el siguiente cuadro 5.6, se muestran los resultados de valores medios ( $\bar{y}$ ), primer cuartil (Q1), mediana ( $\bar{m}$ ), tercer cuartil (Q3), valores máximos ( $X_{m\acute{a}x}$ ), valores mínimos ( $X_{m\acute{i}n}$ ) y el porcentaje de ocurrencia en función a los tipos de falla a flexión.

**Cuadro 5.6** Resultados de la resistencia a la flexión en función al tipo de falla

Valores	Tipo de falla a flexión				
	Falla 1	Falla 2	Falla 3	Falla 4	Falla 5
$\bar{y}$ (MPa)	55.75	53.94	50.60	50.29	34.29
Q1 (MPa)	49.75	50.26	50.21	46.90	32.57
$\bar{m}$ (MPa)	52.13	52.19	50.88	50.67	33.79
Q3 (MPa)	61.71	54.94	52.23	53.54	35.76
$X_{m\acute{a}x}$ (MPa)	66.11	68.80	54.94	56.56	37.74
$X_{m\acute{i}n}$ (MPa)	49.09	46.54	44.24	43.94	31.35
Valor atípico 1	-	64.43	44.24	-	-
Valor atípico 2	-	66.26	-	-	-
Valor atípico 3	-	68.80	-	-	-
Cantidad	7	17	6	7	3
% Ocurrencia	17.50	42.50	15.00	17.50	7.50

Referencia: (Elaborado por el autor)

Para complementar y tener un mejor entendimiento del comportamiento de las uniones dentadas a flexión se construye el diagrama de caja bigote mediante los resultados presentados en el cuadro 5.6, el cual nos permite relacionar las resistencias a flexión de las uniones dentadas en función al tipo de falla y adhesivo utilizado en la fabricación de las láminas con uniones dentadas y vigas de madera laminada tal como se muestra en la figura 5.2.

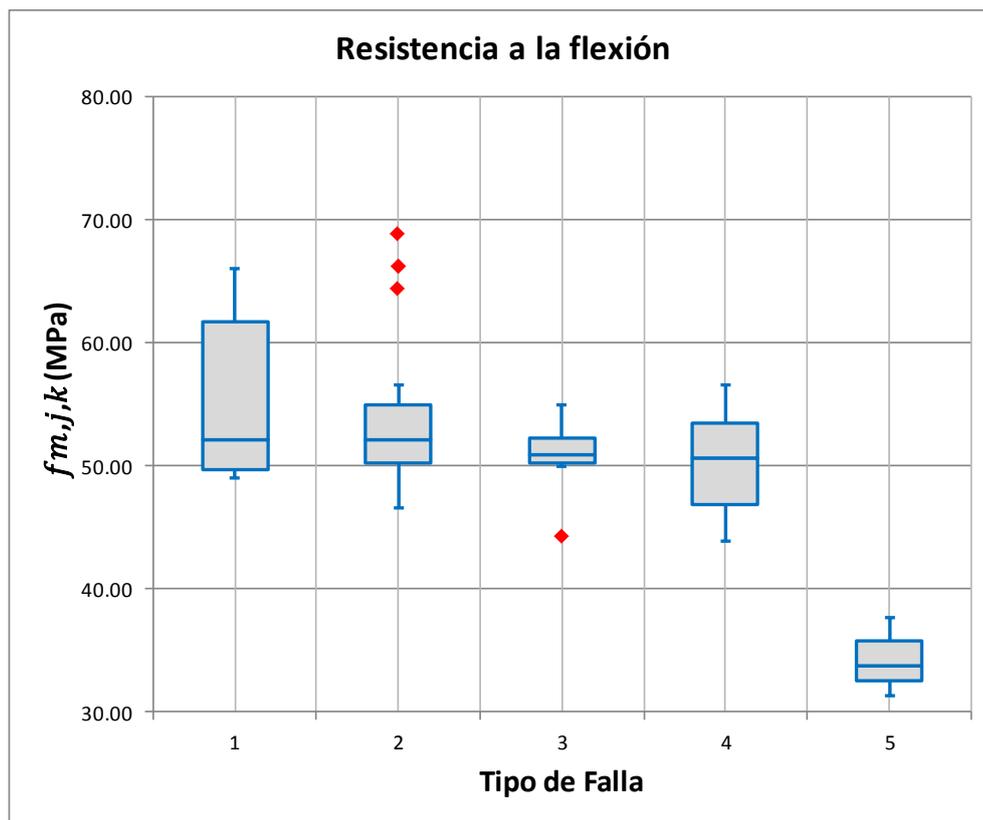


Figura 5.2 Resistencia a flexión por tipo de falla.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Del cuadro 5.6 y figura 5.2, se observa que los mayores valores medios y mediana de la resistencia a flexión corresponden a las muestras que poseen el tipo de falla 1 (100% rotura por madera) y falla 2 (rotura por madera y adhesivo); esta tendencia nos indica que el encolado, presión aplicada, longitud del diente, adhesivo fueron determinantes para obtener piezas de buena resistencia, también se observa que el tipo de falla 2 junto al tipo de falla 1 en conjunto representan el 60% del total de muestras en las que ocurren fallas por madera. Finalmente de acuerdo a los resultados se infiere que el encolado fue el adecuado en el proceso de fabricación de vigas.

### 5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

#### 5.3.1 Análisis de valores de resistencia característica a tracción de las uniones dentadas

En el cuadro 5.7, se presentan los resultados más importantes correspondientes a los ensayos de tracción paralela a la fibra con y sin unión dentada cuyos valores

son: medios ( $\bar{y}$ ), máximos ( $X_{m\acute{a}x}$ ), mínimos ( $X_{m\acute{i}n}$ ), desviación estándar ( $S_y$ ), coeficiente de variación (C.V), resistencia característica a tracción paralela a la fibra de la lámina sin unión dentada ( $f_{t,0,l,k}$ ), resistencia característica a tracción paralela a la fibra de la unión dentada ( $f_{t,0,j,k}$ ) y densidad básica media ( $\rho_m$ ).

**Cuadro 5.7** Resultados de la resistencia a la tracción con y sin uniones dentadas

Tipo de unión	n	Resistencia a la tracción paralela a la fibra							$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )
		$\bar{y}$ (MPa)	$X_{m\acute{a}x}$ (MPa)	$X_{m\acute{i}n}$ (MPa)	$S_y$ (MPa)	C.V (%)	$f_{t,0,l,k}$ (MPa)	$f_{t,0,j,k}$ (MPa)	
Sin unión	40	87.80	152.67	28.35	0.34	7.74	44.44	-	465.73
Dentada	40	64.15	92.45	20.98	0.31	7.44	-	35.11	455.68

Referencia: (Elaborado por el autor)

Con respecto a la relación que existe entre la resistencia a la tracción de las uniones dentadas encoladas con MUF y la resistencia a la tracción de la pieza sin unión dentada se encontró que las probetas que no tienen uniones dentadas obtuvieron valores de resistencia más altos que las que poseían uniones dentadas. Ver cuadro 5.7.

**Cuadro 5.8** Relación entre los valores  $f_{t,0,l,k}$  y  $f_{t,0,j,k}$

$f_{t,0,l,k}$ (MPa)	$f_{t,0,j,k}$ (MPa)	Eficiencia (%)
44.44	35.11	79.01

Referencia: (Elaborado por el autor)

En ensayos similares de uniones dentadas encoladas con MUF con las especies Pinus Hondurensis, Eucalyptus Grandis (se calcularon los valores de  $f_{t,0,j,k}$  a partir de 25 datos obtenidos por Azambuja) y Eucalipto Urograndis, se encontraron valores  $f_{t,0,j,k}$  de 18.32 MPa, 27.01 MPa y 36.50 MPa respectivamente, de igual modo encontraron valores  $f_{t,0,l,k}$  de 40.30 MPa, 44.97 MPa y 50.73 MPa respectivamente [5], [29].

En tal sentido en el cuadro 5.9, se presentan los valores de resistencia a tracción de las uniones dentadas encoladas con MUF y los valores de resistencia a tracción

de la madera maciza de la especie Tornillo en relación a las especies Pinus Hondurensis, Eucalyptus Grandis y Eucalipto Urograndis utilizando el mismo adhesivo.

**Cuadro 5.9** Comparación entre valores resistencia característica a tracción utilizando MUF

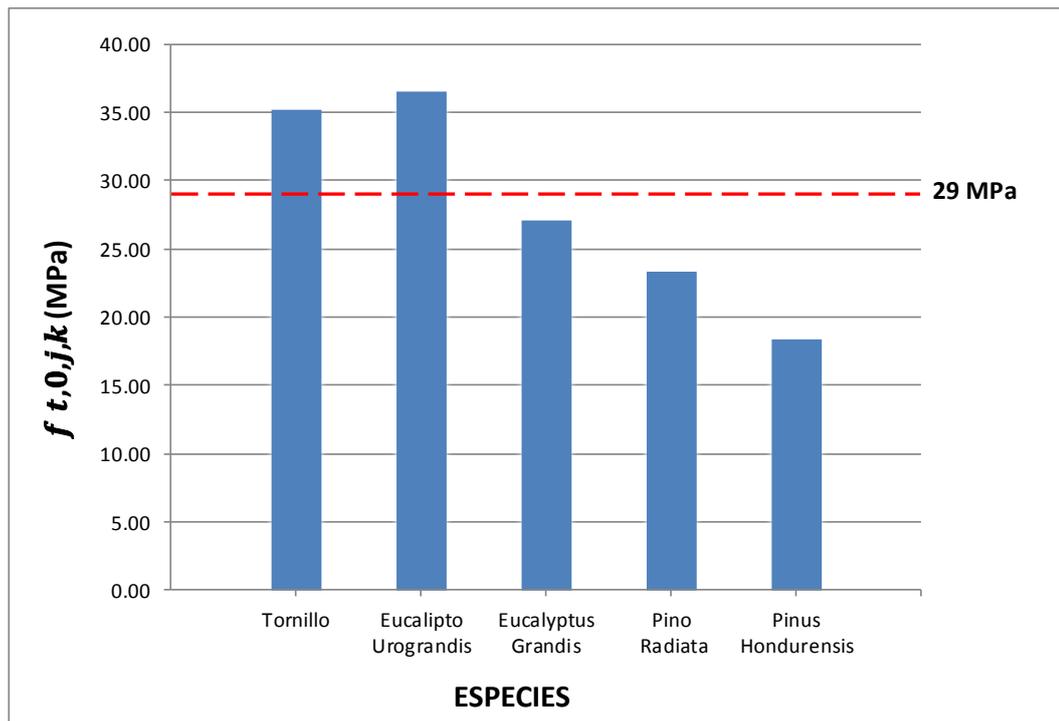
Fuente	Especies	$f_{t,0,l,k}$ (MPa)	$f_{t,0,j,k}$ (MPa)	Eficiencia (%)
Cruzatt, 2019	Tornillo	44.44	35.11	79.01
Azambuja, 2006	Pinus Hondurensis	40.30	18.32	45.46
Azambuja, 2006	Eucalyptus Grandis	44.97	27.01	60.06
Nogueira, 2017	Eucalipto Urograndis	50.73	36.50	71.95

Referencia: (Elaborado por el autor)

Se observa que el Tornillo posee una mejor relación madera – adhesivo con respecto a las especies estudiadas y una buena transferencia de esfuerzos a tracción del 79.01%. Se infiere que es sumamente importante tener en cuenta la compatibilidad entre adhesivos y maderas que se van a utilizar en el proceso de fabricación MLE, de la elección de estos depende la calidad final del producto.

### 5.3.2 Análisis comparativo de los resultados a tracción paralela a la fibra de las uniones dentadas con respecto a estudios similares

En la figura 5.3, se presenta la comparación de los valores de resistencia característica a tracción paralela a la fibra de las uniones dentadas de Tornillo con los requisitos de resistencia a tracción de las uniones dentadas de madera blanda especificada en la norma europea EN 14080 [32] y también con los valores de resistencia característica a tracción de las uniones dentadas encoladas con MUF de las especies Eucalyptus Grandis, Pinus Hondurensis, Eucalipto Urograndis y Pino Radiata [5], [11], [29].



**Figura 5.3**  $f_{t,0,j,k}$  del Tornillo en comparación a los requisitos de la norma EN 14080 y otras maderas encoladas con MUF.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Como se puede observar el valor de  $f_{t,0,j,k}$  del Tornillo (35.11 MPa) logra ser superior al valor de resistencia a tracción de 29 MPa (valor que se obtiene de  $f_{m,j,k}/1.4$ ) requerida para la clase más alta de resistencia de madera blanda de la norma EN 14080. En relación al valor de  $f_{t,0,j,k}$  del Tornillo este logra superar a los valores de  $f_{t,0,j,k}$  de las especies Eucalyptus Grandis (27.01 MPa), Pino Radiata (23.3 MPa) y Pinus Hondurensis (18.32 MPa) en 23.07%, 33.64% y 47.82%; sin embargo el valor de  $f_{t,0,j,k}$  de la especie Eucalipto Urograndis (36.50 MPa) supera al valor de  $f_{t,0,j,k}$  del Tornillo solo en 3.81%.

### 5.3.3 Análisis del tipo de falla a tracción paralela a la fibra de las uniones dentadas

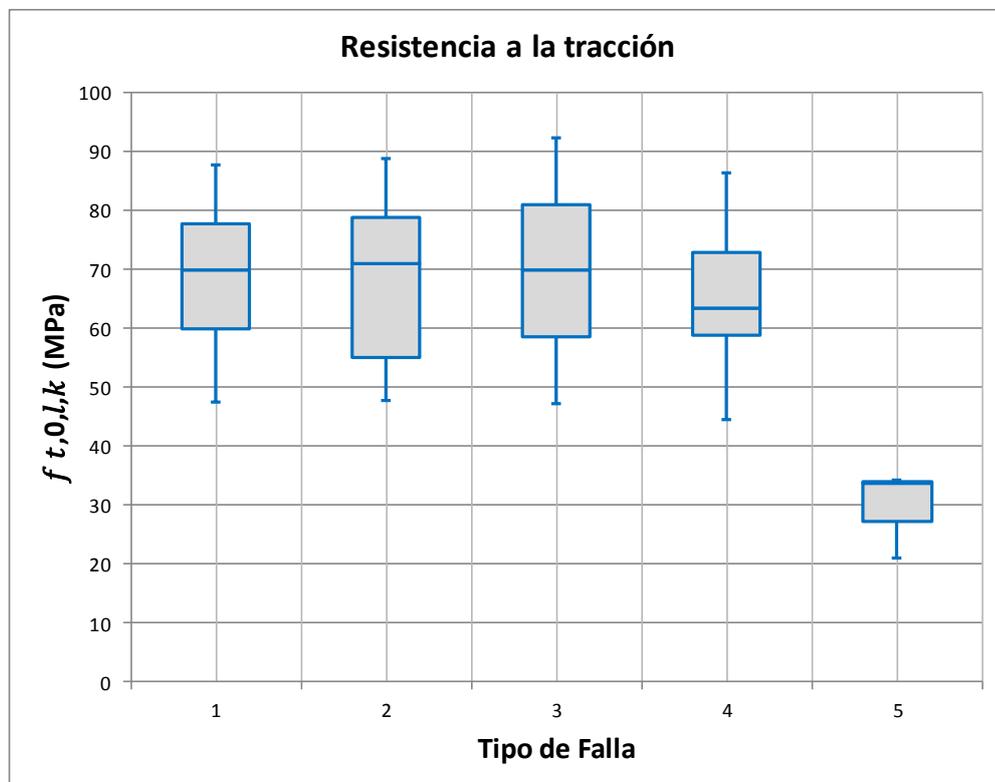
En el cuadro 5.10, se muestran los resultados de valores medios ( $\bar{y}$ ), primer cuartil (Q1), mediana ( $\bar{m}$ ), tercer cuartil (Q3), valores máximos ( $X_{m\acute{a}x}$ ), valores mínimos ( $X_{m\acute{i}n}$ ) y el porcentaje de ocurrencia en función a los tipos de falla a tracción paralela a la fibra.

**Cuadro 5.10** Resultados de la resistencia a la tracción en función al tipo de falla

Valores	Tipo de falla a tracción paralela a la fibra				
	Falla 1	Falla 2	Falla 3	Falla 4	Falla 5
$\bar{y}$ (MPa)	68.69	67.24	69.87	65.05	29.66
Q1 (MPa)	60.01	55.02	58.59	58.81	27.34
$\bar{m}$ (MPa)	69.96	71.02	69.87	63.51	33.69
Q3 (MPa)	77.66	78.98	81.16	72.98	33.69
$X_{máx}$ (MPa)	87.87	88.93	92.45	86.54	34.31
$X_{mín}$ (MPa)	47.62	47.71	47.30	49.58	20.98
Cantidad	7	16	2	12	3
% Ocurrencia	17.50	40.00	5.00	30.00	7.50

Referencia: (Elaborado por el autor)

Para complementar y tener mejor entendimiento del comportamiento de las uniones dentadas a tracción se construye el diagrama de caja bigote mediante los resultados presentados en el cuadro 5.10, el cual nos permite relacionar las resistencias a tracción de las uniones dentadas en función al tipo de falla y adhesivo utilizado en la fabricación de las láminas con uniones dentadas y vigas de madera laminada. Ver figura 5.4



**Figura 5.4** Resistencia a tracción por tipo de falla.

Referencia: (Elaborado por el autor)

Se observa de la figura 5.4 que los mayores valores de mediana de la resistencia a la tracción corresponden a las muestras que poseen el tipo de falla 1 (100% rotura por madera) y falla 2 (rotura por madera y adhesivo); además se observa del gráfico que la muestra que posee menor variabilidad y distribución más homogénea son las que corresponden al tipo de falla 1 y falla 2; esta tendencia nos indica que las láminas fabricadas fueron encoladas adecuadamente.

De lo observado en los cuadros 5.10 y figura 5.4, las muestras del tipo de falla 1 y falla 2 en conjunto representan 57.50 % del total de las muestras en las que ocurren fallas por madera.

## CONCLUSIONES

1. La resistencia característica a flexión de las láminas con uniones dentadas en relación a las láminas macizas de Tornillo se reduce en solo 3 %, resultando ser similares entre sí; además se demuestra que las láminas con uniones dentadas cumplen con los requisitos de fabricación de MLE estructural de la norma EN 14080.
2. La resistencia característica a tracción paralela a la fibra de las láminas con uniones dentadas en relación a las láminas macizas de Tornillo se reduce en 21%; sin embargo se demuestra que las láminas con uniones dentadas cumplen con los requisitos de fabricación de MLE estructural de la norma EN 14080 superando el valor de resistencia a tracción de 29 MPa.
3. En relación a las propiedades físicas de la madera de Tornillo, la densidad básica obtenida en promedio es de 460 kg/m<sup>3</sup> y la densidad básica asociada al quinto percentil es de 400 kg/m<sup>3</sup>, mientras que el contenido de humedad obtenido se encuentra en el rango de 12.5 - 13.3 %. Por lo tanto se trata de una madera blanda, seca y apta para el proceso de laminado de acuerdo a los requisitos de fabricación de MLE indicados en la norma EN 14080 (maderas blandas coníferas).
4. Los ensayos a flexión y tracción demuestran que es factible obtener uniones dentadas de buen rendimiento y producir vigas estructurales de madera laminada encolada de Tornillo utilizando la presión de ensamble (0.51MPa), longitud de diente (13mm), adhesivo Melamina Úrea Formaldehído, temperatura promedio (20°C) y humedad relativa promedio del ambiente (70%) presentados en este trabajo.
5. Los resultados de la evaluación de la calidad del encolado concluyen que la compatibilidad entre Tornillo – MUF y la elección del adhesivo son las adecuadas, ya que las fallas en la zona de unión dentada en su mayoría son por madera.

6. La fabricación de madera laminada encolada (MLE) es posible, porque se han logrado elaborar vigas y crucetas aprovechando las piezas cortas de madera Tornillo; todas estas unidas con el adhesivo Melamina Úrea Formaldehído (MUF).

## RECOMENDACIONES

1. El gobierno, empresa privada, universidades deben promover la construcción con madera laminada y a su vez convencer gradualmente a la población que construir con madera es una opción viable y con grandes ventajas ambientales y económicas.
2. El encolado de los perfiles dentados se realizaron manualmente, en futuros estudios se sugiere ejecutar el encolado del perfil dentado con un equipo mecánico encolador de modo que se compare rendimientos y los costos que implicaría la fabricación de láminas con unión dentada.
3. Realizar evaluaciones del comportamiento de las uniones dentadas de Tornillo encoladas con MUF usando distintas longitudes de diente de 10.5mm, 15mm, 20mm.
4. Complementar este estudio elaborando uniones dentadas de Tornillo encoladas con MUF con distintas presiones de ensamble de 0.7MPa, 1MPa y 2MPa.
5. En futuras investigaciones analizar el comportamiento de uniones dentadas encoladas de maderas nacionales con otros adhesivos estructurales como el Poliuretano monocomponente, Resorcinol Fenol Formaldehído, Emulsión de Polímero-Isocianato.
6. Se recomienda realizar estudios de uniones dentadas encoladas con las 25 especies agrupadas en la norma E010; así como las especies con densidades básicas por debajo de  $0.4 \text{ g/cm}^3$ , como por ejemplo la especie *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* (Pashaco).

## BIBLIOGRAFÍA

1. AITIM (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera). Madera Laminada: Encolado de las uniones dentadas. Revista: AITIM.1996 Nov.- Dic.; (184): p. 28-29.
2. Akzo Nobel. Información del producto, Sistema MUF 1242/2542 para vigas laminadas. Medellín. 2009.
3. Arbeláez J. Ficha Técnica de Vigas de Madera Laminada a flexión. Trabajo de investigación (Para Optar el Título de Ingeniero Civil). Envigado: Universidad EIA, Escuela Profesional de Ingeniería de Antioquía. 2013.
4. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de Estruturas de Madeira. NBR 7190. Rio de Janeiro.1997.
5. Azambuja M. Estudo experimental de adesivos para fabricação de madeira laminada colada: avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas. Dissertação Mestrado (para obtenção do título de Doutora em ciência e engenharia de materiais). São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 2006.
6. Baño V., Moya L. Pliego de condiciones técnicas para la madera estructural en la edificación en Uruguay. Montevideo: Universidad de la República Uruguay, Facultad de Arquitectura. 2015.
7. Batista A, Rodrigo M, Calil C, Martínez M. Evaluación de la resistencia a la tracción en elementos estructurales de madera con uniones dentadas. Revista: Maderas: Ciencia y Tecnología.2002; v. 4(2): p. 169-178.
8. Bringas J. Estructura en madera laminada encolada. Informe de Suficiencia (para optar el título de Arquitecto). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Arquitectura Urbanismo y Artes. 2002.

9. Cárdenas M, Schanack F, Ramos O. Diseño, construcción y ensayo de una estructura de sección mixta madera laminada- hormigón para uso en puentes. *Revista de la construcción*. 2010; v.9, n2: p. 63-75.
10. Demkoff M. Vigas Laminadas Estructurales en madera, su fabricación y empleo. XVII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia. 2003.
11. Donoso G. Producción de Vigas de Madera Laminada Encolada de alta capacidad resistente mediante la utilización de Madera Aserrada de Pino Radiata clasificada mecánicamente. Tesis (Para Optar el Título de Ingeniero Civil). Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil. 2016.
12. Fernández C, Hernández G, Wagner M. Manual de Interpretación de la Norma Japonesa para la Fabricación de Productos de Madera Laminada Estructural. Manual 28. Notificación N° 112 del 29 de enero de 1996. Santiago. 2000.
13. Flores J., Benlochpiquer J. La madera laminada en la selva peruana. Trabajo de Investigación (Para optar el título de Arquitecto). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Arquitectura Urbanismo y Artes. 2003.
14. García R., Muñoz B. Diseño y evaluación de miembros estructurales en Madera Laminada Encolada (M.L.E.) con uniones dentadas (finger joint), en Pino Radiata. Tesis (Para Optar el Título de Ingeniero Civil). Cuenca: Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de construcciones. 2015.
15. Gere J., Goodno B. *Mecánica de Materiales*. Séptima Edición. Publicada por CENGAGE Learning, Inc. México D.F. 2009.
16. Guerra A. Resistencia al cizallamiento de la línea de cola en madera de Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke) procedente de plantaciones en la zona de Ucayali - Perú. Tesis (para optar el título de Ingeniero Forestal). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales. 2015.

17. Herrera G. Clasificación estructural de la madera Pashaco (*Albizzia* sp.). Tesis (Para optar el título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. 2016.
18. IN 011-INNOVATE PERU-PITEI-2016. Elaboración de crucetas de madera laminada de Eucalipto (*Eucalyptus Grandis*), Tornillo (*Cedrelinga Cateniformis* D. Ducke) y Pinus Patula. Convenio entre Postes Wise SAC., Universidad Nacional de Ingeniería y Universidad Nacional Agraria La Molina. 2016.
19. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria). Ecología y Silvicultura de "Tornillo", *Cedrelinga cateniformis* Ducke. Hoja divulgativa realizada por: Walter Angulo Ruíz. Lima. 2015.
20. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria). Efecto de la Presión a la Resistencia Mecánica en Tableros Encolados y Macizos de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) Proveniente del Raleo de una Plantación Forestal en Pucallpa. Impreso en Talleres de: Bastos Rioja Alcira Mercedes. Pucallpa. 2016.
21. Jokerts R. Finger-jointed wood products. USDA. Forest Service. Forest Product Laboratory. FPL 382. 1981.
22. Lara - Bocanegra A., Majano- Majano A., Crespo J., Guaita M. Finger-jointed *Eucalyptus Globulus* with 1C-PUR adhesive for high performance engineered laminated products. Journal: Construction and Building Materials. 2017; v.135: p. 529-537.
23. Macedo A. Estudo de emendas em Madeira Laminada Colada (MLC): Avaliação de método de ensaio. Dissertação Mestrado (para a obtenção do título Mestre em Engenharia de Estruturas). São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 1996.
24. Madrid M. Tecnología de la adhesión. Las Palmas: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 2º Edición. Editorial Loctite. 1997.

25. Mendiola A, Aguirre C, Dávila J, Fernández M, Vittor P. Estructuración económica y financiera de un instrumento de participación en negocios forestales: el caso de la teca en la región San Martín. Lima: Universidad ESAN, Primera Edición. 2016.
26. Miller I., Freund E., Johnson A. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. Octava Edición. Publicada por Pearson Education, Inc. México D.F. 2012.
27. Mohamad G, Accordi J, Roca L. Avaliação da associação de compósito de fibra de vidro e carbono no reforço de madeira de Eucalyptus in natura e autoclavada. Revista: Matéria. 2011; v.16, n1: p. 621-637.
28. Nascimento A., Della R., Rocha B. Colagem de emendas biseladas em madeiras de Pinus spp. E Eucalyptus Citriodora. Revista: Floresta e ambiente. 2001. (8): p.44 - 51.
29. Nogueira R. Proposta de um método de ensaio para controle de qualidade na produção de elementos estruturais de MLC e de LVL. Dissertação Mestrado (para a obtenção do título Mestre em Ciência e Engenharia de Estruturas). São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Estruturas São Carlos. 2017.
30. Norma Europea. Estructuras de Madera. Determinación y verificación de los valores característicos. UNE-EN 14358. Madrid. 2016.
31. Norma Europea. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. UNE-EN 408. Madrid. 2012.
32. Norma Europea. Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos. UNE-EN 14080. Madrid. 2013.
33. Norma Técnica Peruana. Madera. Método para determinar el contenido de humedad. NTP 251.010. 3era Edición. Lima. 2014.

34. Norma Técnica Peruana. Madera. Método para determinar la densidad. NTP 251.011. 3era Edición. Lima. 2014.
35. Parra O. Evaluación de la calidad de adhesión en la madera laminada encolada (MLE) de tres especies forestales para la fabricación de vigas de madera. Trabajo de investigación (Para optar el título de Ingeniero Forestal). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales. 2019.
36. Pérez V. Manual de Madera Laminada. Instituto Forestal. Manual N°11. 2° Edición. Santiago.1992.
37. Prado C. Avaliação da resistência de emendas dentadas para madeira laminada colada. Dissertação Mestrado (Para a obtenção do título Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais). São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 2006.
38. Salazar J. Resistencia de materiales básica para estudiantes de Ingeniería. Primera Edición. Publicada por el centro de publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Manizales. 2007.
39. Sanango P. Comparación del diseño y evaluación de miembros estructurales de madera laminada encolada con uniones dentadas, de Pino Radiata y Eucalyptus Globulus. Tesis (para optar al grado de Ingeniero Civil con énfasis en gerencia de construcciones). Cuenca: Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología. 2017.
40. Scheelje M. Comportamiento del tornillo de tres edades diferentes al cepillado, taladrado y torneado. Trabajo de investigación (Para optar el título de Ingeniero Forestal). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales. 2002.
41. Takahashi L. Proyectos ejecutados con madera laminada en el Perú. Lima. 2019.

42. Universidade Federal do Paraná. Produção de vigas de madeira laminada colada. Curitiba. 2002.
43. Vega A., Baño V., Pérez C., Cardoso A., Godoy D., O'Neill H., Moya L. Evaluación de la resistencia de uniones dentadas Finger Joint con madera de Eucaliptus Grandis de procedencia uruguaya. En: II Congreso Latinoamericano de Estructuras de Madera y II Congreso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción. Buenos Aires. 2017; p.1-7.

### **Páginas web consultadas**

44. AITIM (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera). Madera Laminada Encolada.  
Documento PDF en línea. (Consultado el 17 de Oct. de 2016).  
[http://infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_126\\_Madera%20Laminada%20Encolada\\_18.07.2011.pdf](http://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_126_Madera%20Laminada%20Encolada_18.07.2011.pdf).
45. <http://blogtecnicodelamadera.blogspot.pe/2011/02/estructura-de-madera-laminada-para-nave.html>.
46. <http://www.osinfor.gob.pe>.
47. <http://www.remasa.com.pe>.
48. <https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2df7bcbd51>.

## **ANEXOS**

**ANEXO 01: RESULTADOS DE ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA DE MADERA CON UNIONES DENTADAS.**

**ANEXO 02: RESULTADOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA DE MADERA CON UNIONES DENTADAS.**

**ANEXO 03: RESULTADOS DE ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA DE MADERA MACIZA.**

**ANEXO 04: RESULTADOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA DE MADERA MACIZA.**

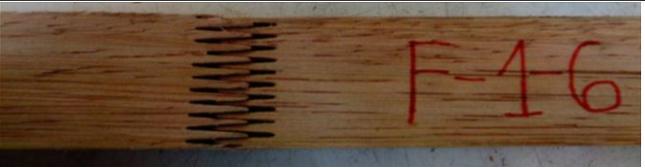
**ANEXO 05: CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN ANATÓMICA DEL TORNILLO.**

**ANEXO 06: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ADHESIVO MELAMINA UREA FORMALDEHÍDO.**

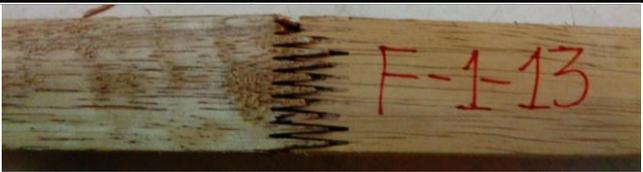
**ANEXO 07: REGISTRO FOTOGRÁFICO**

**ANEXO 01:**  
**RESULTADOS DE ENSAYO DE**  
**FLEXIÓN ESTÁTICA DE MADERA CON**  
**UNIONES DENTADAS**

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-1-1	4.41	56.56	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 100% de uniones dentadas se desprendieron. La rotura se inició en la unión y se extendió en lo largo de la pieza.</p> 			
F-1-2	4.61	59.40	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-3	3.82	49.39	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-4	5.20	66.26	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que un 60% de las uniones dentadas se desprendieron y un 40% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			

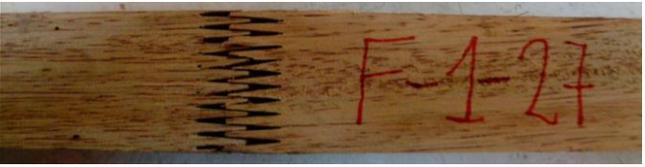
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>	
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN					
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017						
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-1-5	4.12	52.18	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que un 30% de las uniones dentadas se desprendieron y un 70% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-6	3.92	50.84	3	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que un 100% de las uniones dentadas se desprendieron.</p> 			
F-1-7	3.92	50.93	3	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que un 100% de las uniones dentadas se desprendieron.</p> 			
F-1-8	4.22	54.34	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que un 30% de las uniones dentadas se desprendieron y un 70% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>						DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-1-9	3.63	46.54	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 50% de las uniones dentadas se desprendieron y un 50% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-10	5.00	64.02	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que un 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-11	4.31	54.94	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 85% de las uniones dentadas se desprendieron y el 15% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-12	3.43	43.94	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 60% de uniones dentadas estaban intactas y el 40% de los dientes se desprendieron. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-1-13	3.92	51.05	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que un 50% de las uniones dentadas se desprendieron y un 50% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-14	4.22	54.43	4	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 60% de las uniones dentadas fallaron en la madera. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			
F-1-15	3.92	50.26	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 90% de las uniones dentadas se desprendieron y el 10% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-16	2.65	33.79	5	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 100% de uniones dentadas estaban intactas y la rotura se produjo fuera de la zona de unión.</p> 			

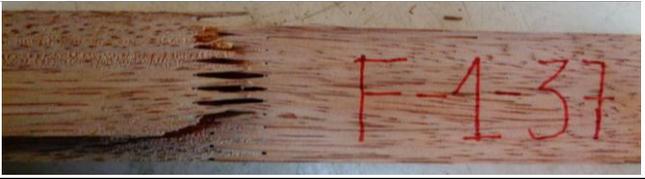
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>	
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN					
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
						<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-1-17	3.43	44.17	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 80% de uniones dentadas estaban intactas y el 20% de dientes se desprendieron. La rotura se inició en la unión y se extendió en lo largo de la pieza.</p> 			
F-1-18	2.45	31.35	5	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 100% de uniones dentadas estaban intactas y la rotura se produjo fuera de la zona de unión.</p> 			
F-1-19	3.92	50.00	3	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas se desprendieron.</p> 			
F-1-20	3.92	50.12	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-1-21	3.73	47.78	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 80% de las uniones dentadas estaban intactas y un 20% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-22	4.12	52.13	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-23	3.92	50.49	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 30% de las uniones dentadas se desprendieron y el 70% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-24	3.82	49.09	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>	
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN					
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-1-25	4.41	56.58	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 50% de las uniones dentadas se desprendieron y el 50% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-26	4.22	54.94	3	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas se desprendieron.</p> 			
F-1-27	4.12	52.43	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 90% de las uniones dentadas se desprendieron y el 10% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-28	4.12	52.67	3	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas se desprendieron.</p> 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-1-29	3.82	49.61	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 20% de las uniones dentadas se desprendieron y el 80% de las uniones dentadas intactas.</p> 			
F-1-30	5.10	64.43	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 40% de las uniones dentadas se desprendieron y el 60% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-31	5.20	66.11	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-32	4.12	52.65	4	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 90% de las uniones dentadas se desprendieron y el 10% de las uniones dentadas fallaron en la madera. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>	
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN					
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017						
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>		<b>OBSERVACIONES</b>		
F-1-33	5.39	68.80	2	<b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 40% de las uniones dentadas se desprendieron y el 60% de las uniones dentadas fallaron en la madera.			
F-1-34	4.12	52.34	2	<b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 90% de las uniones dentadas se desprendieron y el 10% de las uniones dentadas fallaron en la madera.			
F-1-35	3.43	44.24	3	<b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que un 100% de las uniones dentadas se desprendieron.			
F-1-36	3.92	50.67	4	<b>Falla en la madera:</b> Se observó que un 90% de uniones dentadas estaban intactas y un 10% de dientes fallaron en madera. La rotura se inició en la unión y se extendió en lo largo de la pieza.			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-1-37	3.92	49.64	4	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 30% de las uniones dentadas se desprendieron, 30% de los dientes estaban intactos y el 40% de las uniones dentadas fallaron por madera. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			
F-1-38	2.94	37.74	5	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 100% de uniones dentadas estaban intactas y la rotura se produjo fuera de la zona de unión.</p> 			
F-1-39	4.12	52.19	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 50% de las uniones dentadas se desprendieron y el 50% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
F-1-40	3.73	46.79	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 60% de las uniones dentadas se desprendieron y el 40% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			

**ANEXO 02:**  
**RESULTADOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN**  
**PARALELA A LA FIBRA DE MADERA CON**  
**UNIONES DENTADAS**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN		TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA					
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				TEMPERATURA	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				HUMEDAD RELATIVA	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				NORMA	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				FECHA DE FABRICACIÓN	OCTUBRE-2017	
					FECHA DE ENSAYO	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2 mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-1-1	18.17	65.91	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 90% de las uniones dentadas se desprendieron y el 10% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-2	25.12	86.54	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 60% de uniones dentadas estaban intactas y el 40% de los dientes se desprendieron. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			
T-1-3	9.56	34.31	5	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 100% de uniones dentadas estaban intactas y la rotura se produjo fuera de la zona de unión.</p> 			
T-1-4	20.06	69.96	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>	
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN					
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2 mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-1-5	20.19	72.39	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que un 40% de uniones dentadas estaban intactas y un 60% de los dientes fallaron. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			
T-1-6	20.89	74.76	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 90% de uniones dentadas estaban intactas y el 10% de los dientes fallaron. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			
T-1-7	13.58	47.71	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 60% de las uniones dentadas se desprendieron y el 40% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-8	20.93	73.93	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 90% de las uniones dentadas se desprendieron y el 10% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			

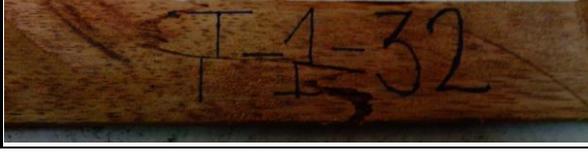
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN					
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2 mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-1-9	23.23	83.42	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 90% de las uniones dentadas se desprendieron y el 10% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-10	17.68	62.82	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 55% de las uniones dentadas se desprendieron y el 45% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-11	23.57	82.28	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 85% de las uniones dentadas se desprendieron y el 15% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-12	6.26	20.98	5	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 100% de uniones dentadas estaban intactas y la rotura se produjo fuera de la zona de unión.</p> 			

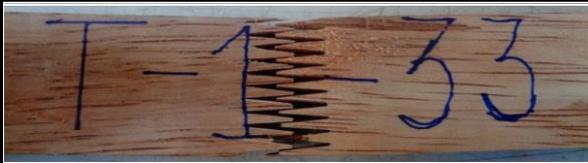
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>			<b>EQUIPOS</b>		
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2 mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-1-13	15.82	53.77	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 60% de las uniones dentadas se desprendieron y el 40% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-14	19.68	70.52	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que un 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-15	13.34	47.30	3	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas se desprendieron.</p> 			
T-1-16	24.91	84.80	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN					
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2 mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-1-17	25.50	88.93	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 20% de las uniones dentadas se desprendieron y el 80% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-18	18.55	63.51	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que la rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			
T-1-19	18.57	65.44	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-20	19.38	68.10	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 40% de las uniones dentadas se desprendieron y el 60% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN					
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2 mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-1-21	17.53	63.51	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 80% de uniones dentadas estaban intactas y el 20% de los dientes fallaron. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			
T-1-22	14.78	54.58	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-23	14.06	49.58	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 30% de uniones dentadas estaban intactas y el 70% de los dientes fallaron. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			
T-1-24	17.52	58.75	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 60% de las uniones dentadas se desprendieron y el 40% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>			<b>EQUIPOS</b>		
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2 mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-1-25	22.50	77.87	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 40% de las uniones dentadas se desprendieron y el 60% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-26	14.23	49.59	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 10% de las uniones dentadas se desprendieron y el 90% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-27	17.02	60.71	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 50% de uniones dentadas estaban intactas y el 50% de los dientes fallaron. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			
T-1-28	24.11	87.87	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>			<b>EQUIPOS</b>		
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2 mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-1-29	9.40	33.69	5	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 100% de uniones dentadas estaban intactas y la rotura se produjo fuera de la zona de unión.</p> 			
T-1-30	23.63	83.73	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 40% de las uniones dentadas se desprendieron y el 60% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-31	13.38	47.62	1	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-32	17.94	65.03	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 90% de uniones dentadas estaban intactas y el 10% de los dientes fallaron. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN					
TÍTULO	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				TEMPERATURA	21°C	
AUTOR	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				HUMEDAD RELATIVA	70%	
ASESORA	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				NORMA	UNE-EN 408	
LUGAR	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				FECHA DE FABRICACIÓN	OCTUBRE-2017	
					FECHA DE ENSAYO	DICIEMBRE-2017	
ADHESIVO	MUF	DIMENSIONES DE PROBETA				EQUIPOS	
ESPECIE	TORNILLO	b (mm)	h (mm)	l (mm)	Lt (mm)	MÁQUINA DE ENSAYO	ZWICK ROELL
TIPO DE UNIÓN	DENTADA	40	7	210	500	VELOCIDAD DE LA MÁQUINA	2 mm/min
RESISTENCIA			TIPO DE FALLA				
CODIFICACIÓN	P <sub>máx</sub> (kN)	f <sub>t.o</sub> (Mpa)	FALLA	OBSERVACIONES			
T-1-33	13.61	48.15	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que un 70% de las uniones dentadas se desprendieron y un 30% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-34	12.84	44.64	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 40% de uniones dentadas estaban intactas y el 60% de los dientes fallaron. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			
T-1-35	17.59	62.11	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 60% de uniones dentadas estaban intactas y el 40% de los dientes fallaron. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			
T-1-36	15.08	53.10	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 70% de uniones dentadas estaban intactas y el 30% de los dientes fallaron. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN					
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	MUF	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	DENTADA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2 mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (Mpa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-1-37	16.11	55.44	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que un 50% de las uniones dentadas se desprendieron y un 50% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-38	23.61	84.73	4	<p><b>Falla en la madera:</b> Se observó que el 60% de uniones dentadas estaban intactas y el 40% de los dientes fallaron. La rotura se inició en la unión y se extendió a lo largo de la pieza.</p> 			
T-1-39	20.79	75.39	2	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 90% de las uniones dentadas se desprendieron y el 10% de las uniones dentadas fallaron en la madera.</p> 			
T-1-40	26.22	92.45	3	<p><b>Falla en la unión dentada:</b> Se observó que el 100% de las uniones dentadas se desprendieron.</p> 			

**ANEXO 03:**  
**RESULTADOS DE ENSAYO**  
**DE FLEXIÓN ESTÁTICA DE**  
**MADERA MACIZA**

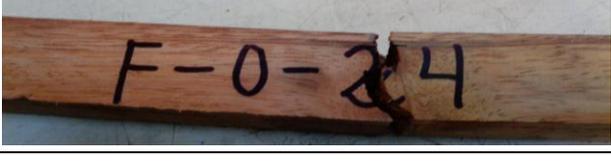
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (MPa)</b>	<b>VISTA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-0-1	5.88	75.19	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión simple.			
F-0-2	6.28	81.19	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado.			
F-0-3	4.22	54.15	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado.			
F-0-4	5.10	65.01	Superficie de tensión	Se observó que la probeta falló por tensión de astillamiento.			

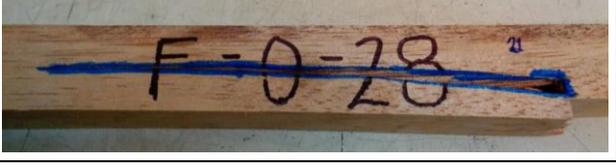
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN					
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>			<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	35	630	210	AMSLER
						<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>
						4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>			
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (MPa)</b>	<b>VISTA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>		
F-0-5	5.88	75.46	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión simple. 		
F-0-6	6.08	77.80	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión por grano entrecruzado. 		
F-0-7	4.02	50.99	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión por grano entrecruzado. 		
F-0-8	4.90	61.67	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 		

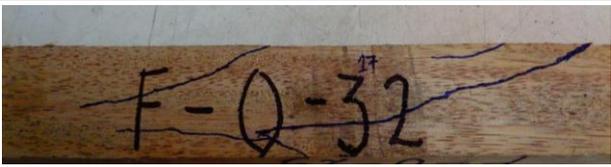
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017						
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>				<b>TIPO DE FALLA</b>			
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (MPa)</b>	<b>VISTA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-0-9	3.92	50.75	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			
F-0-10	2.75	35.31	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión abrupta. 			
F-0-11	4.41	57.54	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			
F-0-12	5.20	66.10	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN		ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS			
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO	<b>TEMPERATURA</b>	21°C		
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID	<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%		
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA	<b>NORMA</b>	UNE-EN 408		
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)	<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017		
		<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017		
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>			<b>EQUIPOS</b>
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	35	630	210
					<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>
					4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>		
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (MPa)</b>	<b>VISTA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	
F-0-13	3.92	50.28	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 	
F-0-14	5.10	64.57	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 	
F-0-15	4.31	55.99	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 	
F-0-16	3.53	45.80	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 	

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017						
<b>ADHESIVO</b>	-		<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>			<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>				<b>TIPO DE FALLA</b>			
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (MPa)</b>	<b>VISTA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-0-17	3.92	49.79	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			
F-0-18	4.12	53.11	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			
F-0-19	5.79	73.29	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			
F-0-20	2.94	37.95	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión abrupta. 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>				<b>TIPO DE FALLA</b>			
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (MPa)</b>	<b>VISTA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-0-21	5.59	71.17	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado.			
F-0-22	4.12	52.94	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión simple.			
F-0-23	6.28	79.19	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado.			
F-0-24	2.45	31.08	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión abrupta.			

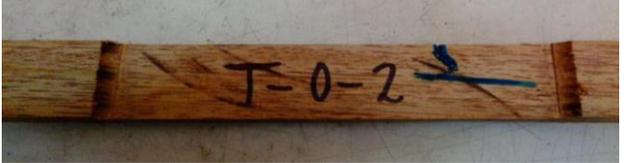
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017						
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (MPa)</b>	<b>VISTA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-0-25	3.63	46.30	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			
F-0-26	5.30	68.05	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			
F-0-27	5.30	68.32	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión simple. 			
F-0-28	3.92	49.54	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			

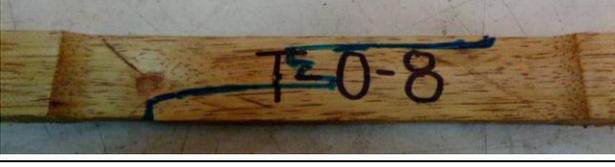
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017						
<b>ADHESIVO</b>	-		<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>			<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>				<b>TIPO DE FALLA</b>			
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (MPa)</b>	<b>VISTA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-0-29	5.59	72.44	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión simple. 			
F-0-30	6.18	78.39	Superficie de tensión	Se observó que la probeta falló por tensión de astillamiento. 			
F-0-31	6.86	87.44	Superficie de tensión	Se observó que la probeta falló por tensión de astillamiento. 			
F-0-32	5.20	66.10	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017						
<b>ADHESIVO</b>	-		<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>			<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>				<b>TIPO DE FALLA</b>			
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (MPa)</b>	<b>VISTA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-0-33	6.28	79.78	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			
F-0-34	5.59	71.50	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			
F-0-35	5.20	65.72	Superficie de tensión	Se observó que la probeta falló por tensión de astillamiento. 			
F-0-36	5.39	69.64	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión simple. 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA A 4 PUNTOS</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017						
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	AMSLER
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	35	630	210	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	4mm/s
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (kN)</b>	<b>f<sub>m</sub> (MPa)</b>	<b>VISTA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
F-0-37	4.51	57.86	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			
F-0-38	4.51	58.33	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión simple. 			
F-0-39	5.98	75.95	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			
F-0-40	5.10	65.53	Lateral	Se observó que la probeta falló por tensión de grano entrecruzado. 			

**ANEXO 04:**  
**RESULTADOS DE ENSAYO DE**  
**TRACCIÓN PARALELA A LA**  
**FIBRA DE MADERA MACIZA**

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2mm/min
<b>RESISTENCIA</b>				<b>TIPO DE FALLA</b>			
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (N)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (MPa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-0-1	29.64	101.77	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-2	20.01	69.88	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-3	34.85	126.05	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-4	34.88	122.95	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			

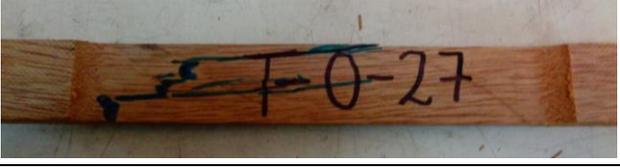
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (N)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (MPa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-0-5	27.65	95.64	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-6	27.68	96.54	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-7	21.60	74.98	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-8	19.69	69.93	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (N)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (MPa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-0-9	18.68	64.48	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-10	30.28	104.89	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-11	17.34	62.28	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-12	30.48	104.52	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			

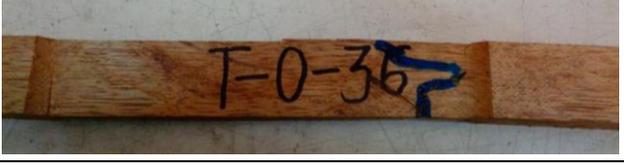
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2mm/min
<b>RESISTENCIA</b>				<b>TIPO DE FALLA</b>			
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (N)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (MPa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-0-13	8.37	28.35	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-14	16.88	61.05	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-15	15.22	51.94	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-16	17.47	64.73	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			

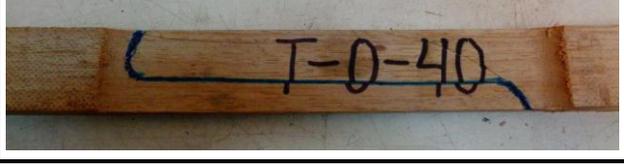
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2mm/min
<b>RESISTENCIA</b>				<b>TIPO DE FALLA</b>			
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (N)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (MPa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-0-17	30.60	108.29	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta.			
T-0-18	36.72	134.27	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta.			
T-0-19	37.18	134.38	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta.			
T-0-20	20.28	70.48	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta.			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (N)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (MPa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-0-21	17.55	61.85	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-22	19.80	68.18	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-23	18.94	66.20	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-24	42.26	152.67	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (N)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (MPa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-0-25	21.71	77.77	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-26	18.71	64.91	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-27	33.31	118.11	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-28	16.52	56.10	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2mm/min
<b>RESISTENCIA</b>				<b>TIPO DE FALLA</b>			
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (N)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (MPa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-0-29	31.04	109.51	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-30	26.11	91.27	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-31	18.98	69.57	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-32	29.06	103.61	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (N)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (MPa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-0-33	20.66	71.06	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-34	26.71	95.40	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-35	33.27	116.58	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-36	13.66	46.91	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
	DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CONSTRUCCIÓN						
<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO				<b>TEMPERATURA</b>	21°C	
<b>AUTOR</b>	BACH. ING. FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID				<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	70%	
<b>ASESORA</b>	MSC. ISABEL MOROMI NAKATA				<b>NORMA</b>	UNE-EN 408	
<b>LUGAR</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEM)				<b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>	OCTUBRE-2017	
					<b>FECHA DE ENSAYO</b>	DICIEMBRE-2017	
<b>ADHESIVO</b>	-	<b>DIMENSIONES DE PROBETA</b>				<b>EQUIPOS</b>	
<b>ESPECIE</b>	TORNILLO	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>Lt (mm)</b>	<b>MÁQUINA DE ENSAYO</b>	ZWICK ROELL
<b>TIPO DE UNIÓN</b>	MACIZA	40	7	210	500	<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA</b>	2mm/min
<b>RESISTENCIA</b>			<b>TIPO DE FALLA</b>				
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>P<sub>máx</sub> (N)</b>	<b>f<sub>t.o</sub> (MPa)</b>	<b>FALLA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			
T-0-37	30.84	110.43	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-38	29.66	103.57	Cuerpo	La rotura se produjo en la zona central de la probeta. 			
T-0-39	20.93	75.53	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			
T-0-40	30.18	105.58	Próximo	La rotura se produjo cerca a la zona de agarre de la probeta. 			

**ANEXO 05:**  
**CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN**  
**ANATÓMICA DEL TORNILLO**



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES: FAX: 349-2041, TEF: 349-5647 / 349-5669, Anexo 203  
APDO.456 - LA MOLINA LIMA PERU



## CONSTANCIA

El que suscribe, **JEFE DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA**, deja constancia que, de acuerdo con el estudio anatómico efectuado, las muestras de madera proporcionada por el alumno **FREDY AMÉRICO CRUZATT ALMONACID** con código UNI N° 20080150I, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, empleada en su trabajo de tesis titulado: **“Evaluación del Comportamiento de Uniones Encoladas, para la Fabricación de Vigas Laminadas con la Madera Tornillo; corresponden a:**

<u>Muestra</u>	<u>Nombre Común</u>	<u>Nombre Científico</u>	<u>Familia</u>
1	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i> Ducke	Fabaceae
2	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i> Ducke	Fabaceae

Atentamente,

**Ing. Manuel Chavesta Custodio**  
**Lab. Anatomía de la Madera**



La Molina, 08 de setiembre de 2017

**ANEXO 06:**  
**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**  
**DEL ADHESIVO MELAMINA**  
**ÚREA FORMALDEHÍDO**



## Sistema MUF 1242 / 2542 para Vigas Laminadas

- Largo tiempo de vida

Sistema para vigas laminadas y finger joint de color claro en estructuras de madera portantes de carga. Aplicación mezclada de resina y catalizador

### Especificaciones del adhesivo

	UF 1242			HARDENER 2542		
<b>Producto</b>	Adhesivo Melamina Urea Formaldehído			Hardener		
<b>Forma de entrega</b>	Líquido			Líquido		
<b>Color</b>	Blanco opaco			Crema (amarillo claro)		
<b>Viscosidad</b> (al momento de producido)	10000 - 20000 mPas (Brookfield LVT, sp. 4, 12 rpm, 25°C/77°F)			10000 - 20000 mPas (Brookfield LVT, sp. 4, 12 rpm, 25°C/77°F)		
<b>Densidad</b>	Aprox. 1250 Kg/m <sup>3</sup>			Aprox. 1340 Kg/m <sup>3</sup>		
<b>pH (al momento de producido)</b>	9.5 – 11.0 (25°C/77°F)			0.8 – 1.5 (25°C/77°F)		
<b>Contenido de sólidos</b>	66 a 69%			No Aplica		
<b>Tiempo de vida (meses)</b>	<b>15°C/59°F</b>	<b>20°C/68°F</b>	<b>30°C/86°F</b>	<b>15°C/59°F</b>	<b>20°C/68°F</b>	<b>30°C/86°F</b>
	---	8	4	---	6	---
<b>Condiciones de almacenamiento</b>	Temp de almacenamiento recomendada 15 a 25°C/59 a 77°F					
	Solamente se permiten cortos tiempos de exposición a temperaturas superiores a 30°C / 86°F e inferiores a 10°C/50°F.					
	El producto no puede ser congelado para después ser usado debido a cambios irreversibles en el producto					
<b>Información de Formaldehído</b>	Formaldehído libre <0.7%			No contiene formaldehído		
<b>Propiedades de la línea de cola</b>	Cumple con los requerimientos de la norma EN 301 (para uso tipo I y II, servicios clase 1, 2, 3) y DIN 68141.					
<b>Aprobaciones</b>	El sistema 1242-2542 ha sido aprobado por Norsk Treteknis Institutt (NTI) de Noruega, Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart – Otto – Graf – Institut (MPA) de Alemania y por SKH/Komo (DHBC No 32389), Holland; para la producción de elementos estructurales en madera que soportan carga.					
	Cumple con los requerimientos de la norma EN 301 (para uso tipo I y II, servicios clase 1, 2,3) en EN 386 así como también con los requerimientos de la DIN 68141 para la producción de elementos estructurales en madera que soportan carga de acuerdo con la norma DIN 1052.					



**AkzoNobel**  
Tomorrow's Answers Today

## Información de la operación de encolado

<b>Aplicaciones</b>	Vigas laminadas			
<b>Tipo de prensa</b>	Prensa en caliente y en frío			
<b>Temperatura mínima de la línea de cola</b>	No trabajar por debajo de 20°C/68°F			
<b>Tiempo de prensa</b>	Temp de la cola en la unión	Relación de mezcla 100:20		
	20°C/68°F	10 h		
	30°C/86°F	3 h		
	Temp de la cola en la unión	Relación de mezcla 100:15		
20°C/68°F	9			
30°C/86°F	2h 45'			
<b>Tiempo de vida</b>	<b>Relación de mezcla</b>	<b>15°C/59°F</b>	<b>20°C/68°F</b>	<b>30°C/86°F</b>
	100:20	2h 30'	1h 40'	50'
100:25	2 h	1h 20'	40'	
<b>Presión</b>	Madera blanda mínimo 5 kgf/cm <sup>2</sup> (0.5 MPa)			
	Madera dura mínimo 10 kgf/cm <sup>2</sup> (1 MPa)			
	En la producción de vigas laminadas:			
	Lamelas de 33 mm mínimo 7 kgf/cm <sup>2</sup> (0.7 MPa)			
Lamelas de 45 mm mínimo 9 kgf/cm <sup>2</sup> (0.9 MPa)				
<b>Tiempo de ensamble</b> (20°C/68°F)	<b>Cond. Encolado</b>	<b>Relación mezcla</b>	<b>Max Tiempo cerrado</b>	
	250 g/m <sup>2</sup> / 51 L/1000 ft <sup>2</sup>	100:20	1h 20'	
	400 g/m <sup>2</sup> / 82 L/1000 ft <sup>2</sup>	100:20	1h 50'	
	250 g/m <sup>2</sup> / 51 L/1000 ft <sup>2</sup>	100:25	1h 10'	
400 g/m <sup>2</sup> / 82 L/1000 ft <sup>2</sup>	100:25	1h 40'		
<b>Relación de mezcla</b> (por peso)	100:20 ó 25 (Adhesivo:Catalizador).			
	La exactitud en la cantidad de catalizador debe ser ± 1 parte en peso tanto en operación separada o mezclados.			
<b>Esparcimiento de adhesivo</b>	170 a 450 g/m <sup>2</sup> En vigas laminadas se recomienda 250 a 450 g/m <sup>2</sup>			
<b>Contenido de humedad de la madera</b>	8 a 15%, en vigas se recomienda preferiblemente 10-12%			
<b>Preparación de la madera</b>	Para mejores resultados la Madera debe ser cepillada. Para una fuerza de agarre óptima, la operación de pegue se debe realizar dentro de las 24 horas posteriores a la preparación de la madera.			



**AkzoNobel**  
Tomorrow's Answers Today

<b>Temperatura de la madera</b>	Para conseguir los tiempos de prensa requeridos, la temperatura de la madera no debe estar por debajo de los 20°C/68°F.
<b>Post curado</b>	Superior a 5 días a 20°C/68°F. Después del tiempo de prensado la línea de cola debe alcanzar la suficiente resistencia para ser manipulada en la construcción. La máxima resistencia será alcanzada después de cierto tiempo, dependiendo del tiempo de prensa y la temperatura de prensado.

### **Información de la operación de encolado para finger Joint y lamelas para estructuras de madera que soportan carga.**

<b>General</b>	Para la producción de finger Joint para productores controlados por el Otto-Graf-Institut (MPA), se deben seguir los requisitos de la norma DIN 68140-1:1998-02
<b>Equipo de aplicación</b>	<u>Con mezclador de pegante</u> : rodillos ranurados o equipos similares.
<b>Contenido de humedad de la madera</b>	El contenido de humedad deberá ser similar al contenido de humedad en la construcción cuando esté en uso. Ver también DIN-68140-1.
<b>Aplicación de la resina y del hardener</b>	<u>Con mezclador de pegante</u> : Aplicación en doble cara con 125-150 g/m <sup>2</sup> en cada cara. El mezclador de pegante debe cubrir al menos ¾ de la longitud de los dedos. El control de producción del productor de tomar una muestra de los finger con ambos productos, resina y catalizador, cada día. Esta muestra debe ser marcada con la fecha y mantener el control para las autoridades. Adicionalmente a este control, el consumo diario de resina y hardener también debe llevarse a cabo.
<b>Temperatura de la madera</b>	Las lamelas del finger Joint para vigas laminadas la temperatura de la madera no deberá ser inferior a 18°C/64°F.
<b>Relación de mezcla</b>	Para las uniones finger Joint para vigas laminadas están aprobadas las siguientes muestras: 1242      100 partes en peso 2542      20 partes en peso Agua      0 a 5 partes en peso. La relación de catalizador debe estar en ± 1 parte en peso.
<b>Tiempo de vida</b>	5 partes de agua en peso incrementará el pot life en 10% aprox.
<b>Temperatura de prensado</b>	La temperatura mínima de prensado deben ser 20°C/68°F
<b>Encolado sin prensa de radiofrecuencia</b>	Con lamellas con finger Joint para vigas laminadas, la temperatura mínima de prensado deben ser 20°C/68°F
<b>Encolado con radiofrecuencia con precalentamiento</b>	En la zona del finger Joint la temperatura mínima debe alcanzar 60°C/140°F
<b>Encolado con radiofrecuencia sin precalentamiento</b>	En la zona del finger Joint la temperatura mínima debe alcanzar 85°C/185°F

<b>Tiempo de curado</b>	El tiempo de curado a 60°C/140°F el tiempo de prensa es de 2h.
<b>Proceso siguiente de después del finger joint</b>	Las lamelas de finger Joint pueden ser procesadas directamente después de la operación del finger joint siempre y cuando el equipo de transporte y la molduradota no expongan las uniones del finger a daños por esfuerzos.

### Maquinaria

<b>Aplicador</b>	6231 – Encoladora de cortina 6234 – Encoladora de rodillos vertical 6235 – Encoladora de rodillos ancho <300mm 6236 – Encoladora de rodillos con mezclador integrado < 300 mm, zona de mezclado patentada. 6237 – Encoladora de rodillos ancho >400mm
<b>Mezclador</b>	6201 y 6203 – Sistema de mezclado para UF, PRF, MUF 6205 – Sistema de mezclado y algunas veces de Aplicación de UF, PRF, MUF
<b>Accesorios</b>	6213 – Distribuidor de UF, PRF, MUF 6246 – Enfriador e intercambiador de calor 6262 – Sistema de disposición de agua residual 6282 y 6284 – Unidad de control y sensores de nivel 6289 – Tanque diario 6201-50 Accesorio para mezcladores de pegante.

### Manejo e Información de HSE

<b>Manejo</b>	Use siempre guantes y gafas cuando maneje el producto.
<b>Limpieza</b>	El pegante de las manos debe ser removido con agua y jabón. Para el equipo, use agua tibia para limpiar junto con el agente de limpieza 4450 o el agente de lavado 2704. La limpieza tiene que comenzar antes de que cure el sistema.
<b>Manejo de residuos (de los productos)</b>	Resina: normalmente está clasificado como residuo peligroso (contiene formaldehído).  Hardener – dependiendo de la clasificación del Hardener puede ser considerado como residuo peligroso, revise la hoja de seguridad (Sección 13)  Mezcla de adhesivo y catalizador – Puede ser tratado normalmente como residuo no peligroso cuando se cura totalmente.  <b>NOTA!</b> Puede haber diferencias entre las regulaciones locales y nacionales, por lo tanto siempre mantenga un dialogo con las autoridades locales.
<b>Residuos de tratamiento de agua (de los residuos de agua)</b>	<u>Precipitación química → Vertedero*</u> <u>Tratamiento biológico → Vertedero*</u>

---

**Precipitación Mecánica → Vertedero\***

\* aguas negras municipales con tratamiento biológico

**NOTA!** Puede haber diferencias entre las regulaciones locales y nacionales, por lo tanto siempre mantenga un dialogo con las autoridades locales.

---

**Salud y seguridad**

Para más información lea las hojas de seguridad.

---

Para más información relacionada con los datos mencionados, vea la respectiva sección de abajo.

**Cláusula legal**

Esta información está basada en pruebas de laboratorio y experiencia práctica. Esto es una introducción y una intención para ayudarle a encontrar el uso más recomendado del método de trabajo. Como las condiciones de producción de los usuarios están mas allá de nuestro control, nosotros no podemos cargar con la responsabilidad de los resultados de un trabajo que es afectado por las condiciones y circunstancias locales. En todo caso particular se recomiendan pruebas y control continuo.

**Información general en orden alfabético**

---

**Accesorios (Máquinaria)**

Algunos ejemplos de accesorios incluyen el enfriador de pegante, el sistema de tanque diario, sistema de control de cantidad de pegante y de control de relación de resina catalizador  
Para más información acerca de accesorios, por favor contacte a su representante de Casco Adhesives.

---

**Aplicaciones**

Algunos ejemplos de aplicaciones son: pisos, plywood curvo, laminado con papel, puertas y ventanas, vigas laminadas, ensamblés, enchapes, tableros alistonados.

Nuestros sistemas de adhesivos están desarrollados específicamente para las diferentes aplicaciones. Para más información vea la sección "Información de operación del adhesivo"

---

**Aplicador**

Algunos ejemplos de aplicadores son: encoladoras, rodillos de caucho, paletas dentadas, aplicador spray.

Los aplicadores recomendados se pueden encontrar en la sección de "Maquinaria"

---

**Aprobaciones**

Los sistemas de adhesivos y/o las construcciones finales encoladas pueden ser sujeto de pruebas oficiales y certificaciones. Estas evaluaciones y certificaciones son logradas de acuerdo con los estándares tales como ANSI, DIN; JAS, JIS y EN. La lista de aprobaciones para los sistemas de encolado han sido obtenidos en institutos externos.

---

**Condiciones de almacenamiento**

Para lograr conservar la vida del producto, es muy importante que el producto se encuentre almacenado bajo las condiciones recomendadas.

Las condiciones óptimas de almacenamiento para este sistema, pueden encontrarse en la sección de "Especificaciones de producto". Ver también Vida en Almacenamiento.

---

**Contenido de humedad**

El contenido de humedad de la madera afectará los resultados del pegue. Un alto contenido de humedad puede poner lento el sistema y en algunos adhesivos un alto contenido de humedad, destruirá la calidad de la línea de cola.

En algunos casos, un muy bajo contenido de humedad puede acelerar

---



**AkzoNobel**

Tomorrow's Answers Today

---

	<p>el proceso de pegue. El contenido de humedad de la madera afectará sobretodo la calidad del producto final.</p> <p>Un contenido de humedad desigual, excesivamente bajo o excesivamente alto puede causar que el material se tuerza, se doble y sea desigual. El contenido de humedad recomendado para este sistema se muestra en la sección "Información de operación del Encolado"</p>
<b>Esparcimiento</b>	<p>Se escoge de acuerdo a la aplicación, tipo de sistema de adhesivo y tipo de sustrato.</p> <p>Para la producción de construcciones en madera estructural la reducción del esparcimiento, es permitido únicamente con el soporte del servicio técnico de Casco Adhesives y dependiendo de los parámetros de producción de la línea en cuestión. Esta optimización implica que los parámetros fijados son evaluados continuamente con un control de calidad hecho con pruebas de delaminación.</p> <p>Cuando la presión es aplicada se nota un leve lagrimeo de adhesivo a lo largo del canto entre las uniones, esto indica un adecuado esparcimiento y que el tiempo de ensamble total no se ha excedido.</p> <p>Un lagrimeo excesivo indica exceso de pegante, exceso de presión, o combinación de ambos factores. Un esparcimiento de adhesivo muy alto puede ser usado cuando se requieren largos tiempos de ensamble. Es importante que la aplicación del adhesivo sea uniforme. Para lograr un esparcimiento uniforme, use un aplicador de muy buena calidad y hágale buen mantenimiento.</p> <p>El esparcimiento óptimo debe ser determinado para cada caso particular y especie de madera. En la sección de "Esparcimiento de Pegante / Información de operación del pegante" se provee una guía.</p>
<b>Información de emisiones de formaldehído</b>	<p>Las emisiones de formaldehído son medidas de acuerdo a las normas oficiales EN, JAS, JIS ANSI, ASTM.</p> <p>Para determinar el nivel exacto de emisiones de su adhesivo, debe tomar una muestra del producto y enviarlo a un instituto para medirlas. Para más información de normas de emisiones, post tratamientos e información relacionada por favor contacte con el personal de Casco Adhesives más cercano</p>
<b>Limpieza</b>	<p>El equipo tiene que ser limpiado con agua tibia antes de que el adhesivo haya curado. EL adhesivo curado debe ser removido mecánicamente. Se recomienda el uso del lavador de pegante 4450 o el agente de limpieza 2704, para facilitar la limpieza de la encoladora.</p> <p><b>Limpiador de Pegante 4450:</b> Agregue un 1% de limpiador de pegante (calcule la cantidad de mezcla en la encoladora) para esparcirlo. Luego espárzalo por aproximadamente 5 minutos para asegurar la mezcla adecuada, cuando el proceso de mezclado haya culminado, la dispersión puede ser lavada con agua tibia.</p> <p><b>Agente de limpieza 2704:</b> Vacíe tanto como pueda la mezcla de adhesivo de la encoladora. Agregue una poca cantidad de Agente de limpieza 2704 a lo largo del rodillo y permita que el rodillo gire por aproximadamente 4 minutos. Use 0.5 Kg. de agente de limpieza 2704</p>

---



---

	<p>para un rodillo con un ancho de 1 m. Lave los rodillos con agua caliente (60°C).</p> <p>Para limpiar un rodillo de caucho, añada al rodillo una mezcla 50/50 de la solución de agua caliente y agente de limpieza 2704. Permita que la solución se disperse alrededor de la encoladora por aproximadamente cuatro minutos y luego limpie con agua caliente.</p>
<b>Manejo</b>	<p>Evite el contacto directo con los adhesivos y hardeners. Usar siempre guantes y gafas. Si el adhesivo o hardener entra en contacto con la piel, lave inmediatamente el área afectada con agua tibia y jabón.</p> <p>Debido a su bajo pH, el Hardener es corrosivo para el cobre y las aleaciones que contienen cobre. Por lo tanto se recomienda el uso de acero o el plástico para tener contacto directo con el producto. La hoja de seguridad provee información de recomendaciones de salud y seguridad. Estudie esta información cuidadosamente.</p>
<b>Manejo de residuos de los productos</b>	<p>Resina: normalmente está clasificado como residuo peligroso (contiene formaldehído).</p> <p>Hardener – dependiendo de la clasificación del Hardener puede ser considerado como residuo peligroso, revise la hoja de seguridad (Sección 13)</p> <p>Mezcla de adhesivo y catalizador – Puede ser tratado normalmente como residuo no peligroso cuando se cura totalmente.</p> <p><b>NOTA!</b> Puede haber diferencias entre las regulaciones locales y nacionales, por lo tanto siempre mantenga un dialogo con las autoridades locales.</p>
<b>Mezclador</b>	<p>Los mezcladores son usados para mezclar automáticamente el adhesivo y el catalizador, o una mezcla multicomponente.</p> <p>El Mezclador más recomendados para este sistema se encuentra especificado en la sección de “Maquinaria”.</p>
<b>Miscibilidad</b>	<p>Si un producto puede ser mezclado con otro producto tiene que ser determinado para cada caso específico. Para más información por favor contacte a su representante de Casco Adhesives más cercano.</p>
<b>pH</b>	<p>En la sección de “Especificaciones del producto” se encuentra el pH y si ese pH es medido al momento de producirlo o al momento de la entrega. El pH puede variar con el tiempo. Tanto como el producto sea usado dentro del tiempo de almacenamiento dado y bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas, los pequeños cambios en pH no afectarán la operación del adhesivo o la calidad.</p>
<b>Post Curado</b>	<p>Post curado es el tiempo que se necesita para que la línea de cola logre la suficiente fuerza para sostener o resistir la construcción.</p> <p>El tiempo de post curado específico requerido para alcanzar la fuerza máxima depende del tiempo de prensa, de la temperatura de prensa y de la temperatura de post curado.</p> <p>Curar a temperaturas diferentes a las temperaturas diseñadas en la sección “Información de operación del adhesivo” cambiará los tiempos de post curado requeridos. Para ajustar este tiempo de post curado debe contactar al personal técnico de Casco Adhesives. Para más información acerca de post curado, ver la sección “Tiempo de pos curado / Información de operación del adhesivo”.</p>

---



**AkzoNobel**

Tomorrow's Answers Today

<b>Preparación de la madera</b>	<p>Para mejores resultados en el pegue, la superficie del sustrato tiene que ser preparada adecuadamente. Para una optima fuerza de pegue, la operación de encolado, ensamble y presión, debe tomar lugar dentro de las 24 horas posteriores a la preparación. La superficie también debe estar libre de polvo, grasa, aceite y otros contaminantes.</p> <p>El sustrato tiene que ser cuidadosamente seleccionado para lograr una optima calidad en la línea de cola.</p>
<b>Presión de prensado</b>	<p>Es la presión que mantiene junto los sustratos durante la operación de prensado.</p> <p>En la producción de vigas laminadas la presión de prensado necesaria depende del espesor de las lamelas y del tipo de madera. Cuando la aplicación de la resina y el catalizador se hace de forma separada, la presión mínima debe ser 0.8 MPa (8 kgf/cm<sup>2</sup>) independiente del espesor de las lamelas asegurando que haya un buen mezclado entre la resina y catalizador y que el máximo espesor de la línea de cola sea de 0.3 mm.</p> <p>Cuando se usa pegante mezclado, se requiere para madera blanda una presión entre 0.6 a 0.8 MPa (6 a 8 kgf/cm<sup>2</sup>) para lamelas con espesor de 33 mm, mientras que lamelas de 45 mm requieren de 0.8 a 1 MPa (8 a 10 kgf/cm<sup>2</sup>). A mayor espesor, mayor presión se necesita. Para maderas duras se requiere al menos 1 MPa (10 kgf/cm<sup>2</sup>).</p> <p>Para otros tipos de encolado las presiones requeridas son: Maderas blandas mínimo 0.5 MPa (5 kgf/cm<sup>2</sup>) Maderas duras mínimo 1 MPa (10 kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>Exceso de presión puede causar lagrimeo excesivo, generando una línea de cola pobre. La presión inadecuada puede generar pobre contacto entre las dos superficies, causando un pegado débil.</p> <p>En general la presión recomendada para pegar madera es 0.3 – 1.0 MPa (3 a 10 kgf/cm<sup>2</sup>). Niveles de presión más exactos, para los diferentes procesos, deben ser determinados para cada caso específico para obtener una fuerza de agarre óptima.</p>
<b>Propiedades de la línea de cola</b>	<p>Algunos ejemplos de propiedades de la línea de cola son: la durabilidad, la resistencia al agua y al calor, resistencia frío y a la intemperie.</p> <p>Las propiedades de la línea de cola también pueden ser clasificadas de acuerdo con las normas y estándares. En la sección de "Aprobaciones / Especificaciones de producto" se listan los institutos externos que aprueban el adhesivo.</p>
<b>Relación de mezcla</b>	<p>El adhesivo y el catalizador, deben ser mezclados en la proporción descrita en la sección "Información de operación del adhesivo". Si es usada otra relación de mezcla, pueden verse afectados varios factores como tiempos de prensa, tiempos de vida del adhesivo, tiempos de ensamble y por ende la calidad de la línea de cola.</p> <p>En la producción de construcciones estructurales en madera la máxima desviación permitida en la relación de mezcla es de <math>\pm 2</math> partes</p>



---

	<p>en peso. Si se permiten desviaciones diferentes estas estarán dadas en la Información de la Operación de Encolado.</p> <p>Si se usa un sistema mezclado de adhesivo, asegúrese de que el adhesivo y el catalizador hayan sido completamente mezclados antes de usar la mezcla.</p> <p>Si el adhesivo y el catalizador van a ser mezclados manualmente, añada el catalizador al adhesivo y no al contrario.</p>
<b>Salud y seguridad</b>	<p>Estudie la hoja de seguridad antes de usar los productos de Casco Adhesives Ver también Manejo.</p>
<b>Temperatura de la madera</b>	<p>Si un sistema adhesivo es usado para prensar en frío* o prensar a bajas temperaturas, la temperatura de la madera tiene un impacto significativo en el tiempo de prensa. Por ejemplo, cuando la madera entra tiene una temperatura de +10°C/50°F, el tiempo de prensa es sustancialmente más largo que cuando la madera tiene una temperatura de +20°C/68°F.</p> <p>Para la producción de vigas laminadas la temperatura mínima debe estar en 20°C/68°F.</p> <p>La temperatura de la madera tiene un gran impacto cuando se prensa a bajas temperaturas que cuando se prensa a temperaturas alrededor de +50°C/122°F. Sin embargo, los tiempos de prensa serán afectados por temperaturas de prensa altas durante la sesión de enfriamiento, cuando la temperatura de la madera puede caer cercana a los 0°/32°F.</p> <p>Para lograr los tiempos de prensa dados, la temperatura de la madera no debe caer por debajo de las temperaturas mínimas dadas en la sección "Temperatura de la madera / Información de operación del Encolado"</p> <p>*Prensa en frío, está definida como la prensa con ausencia de una fuente de calor externo como una prensa caliente o radio frecuencia.</p>
<b>Temperatura de prensa</b>	<p>Los tiempos de prensa en la sección de "Información de Operación del Encolado" corresponden a 20°C/68°F y 30°C/86°F. Sin embargo, la generación de calor en la línea de cola actual depende de la tecnología de la prensa que está siendo usada. (ver tipo de prensa). Algunos sistemas de adhesivos pueden requerir intervalos de temperatura para líneas de cola especiales La mejor temperatura de prensa recomendada para este sistema adhesivo se encuentra en la sección de "Información de Operación del Encolado"</p>
<b>Tiempo de Ensamble</b>	<p>El tiempo de ensamble es medido desde el momento de la aplicación del adhesivo hasta la aplicación completa de la presión al sustrato. El tiempo de ensamble está compuesto del tiempo abierto de ensamble (TAE) y el tiempo cerrado de ensamble (TCE). <b>TAE</b> Se mide desde la aplicación del adhesivo hasta el ensamble del sustrato. <b>TEC</b> se mide desde que se ensambla el sustrato hasta la aplicación completa de la presión. El TAE y el TCE están influenciados por el esparcimiento de adhesivo, el contenido de humedad de la Madera y la temperatura y humedad del ambiente. A mayor esparcimiento, menor temperatura y mayor contenido de humedad en la Madera y los alrededores, el TAE y el</p>

---

	<p>TCE serán más largos. Los datos de TAE y de TCE deben ser manejados separadamente. El tiempo total de ensamble (TAE + TCE) tiene que ser evaluado en cada caso particular.</p>
<b>Tiempo de Máquina</b>	Ver tiempo de vida o Pot life
<b>Tiempo de Prensa</b>	<p>El tiempo de prensa es el intervalo de tiempo en la que se deben mantener las uniones pegadas bajo presión antes de ser maquinadas. Los tiempos de prensa son medidos por Casco Adhesives con métodos de análisis, así que se pueden comparar los tiempos de prensa de los diferentes sistemas.</p> <p>El tiempo de prensa depende también de la distancia dada entre la línea de cola más interna y el plato de la prensa. Los tiempos de prensa dados están relacionados con la temperatura del material a 20°C/68°F. Si la temperatura del material es más baja, los tiempos de prensa deberán ser prolongados.</p> <p>El tiempo de prensa puede estar influenciado, entre otras cosas, por el espesor de la línea de cola.</p> <p>Para la producción de madera estructural de acuerdo a la norma DIN 1052, el tiempo mínimo de presión dado en la Información General de Encolado está determinado por la norma DIN 68141 (espesor línea de cola 0.5 mm) o EN 302-6 (espesor la línea de cola de 0.3 mm).</p> <p>El tiempo de prensa dado está relacionado a la producción de vigas laminadas con contenidos de humedad de aprox 12%. Cuando se encolan vigas curvas o se usad madera con altos contenidos de humedad el tiempo de prensa debe ser prolongado.</p> <p>Cuando las líneas de cola (aprox 0.1 mm) son siempre garantizadas, el tiempo mínimo de prensa puede ser inferior al determinado de acuerdo con la norma DIN 68141 o EN 302-6. El tiempo de prensa puede ser variado con lo mencionado anteriormente y únicamente en cooperación con el equipo técnico de Casco Adhesives. Para estos casos, el máximo espesor de la línea de cola debe ser controlado regularmente con el control de producción de la fabrica o con el control de calidad de la línea de cola de acuerdo a con la prueba de delaminación.</p> <p>Los tiempos de prensa dados en “Información de operación del Encolado” deben ser tomados solamente como una guía; los tiempos de prensa dependen de los diferentes procesos y tienen que ser determinados para cada caso en particular. Numerosos parámetros influyen el desempeño del sistema adhesivo, tal como las condiciones mecánicas y superficiales de la prensa, el contenido de humedad del sustrato, el tipo de construcción, y las especies de madera.</p>
<b>Tiempo de Vida o Pot life</b>	<p>El tiempo de vida está definido como el periodo de tiempo durante el cual la mezcla de adhesivo y catalizador puede ser usada. Casco Adhesives mide los tiempos de vida usando métodos de análisis controlados, así que el tiempo de vida de los diferentes sistemas de adhesivos puede ser comparado.</p> <p>El también llamado “tiempo de máquina” está relacionado con el</p>



**AkzoNobel**

Tomorrow's Answers Today

---

	<p>tiempo de vida de un sistema. El tiempo de máquina depende en gran parte de la velocidad del rodillo, la temperatura de la mezcla de adhesivo, humedad, temperatura ambiente y del consumo de adhesivo. Porque de los diferentes procesos usados, y porque las condiciones varían de proceso a proceso, es muy difícil indicar el tiempo de máquina para un sistema específico. El tiempo de vida puede ser usado para proveer una guía del tiempo de máquina.</p> <p>El tiempo de vida y el tiempo de máquina, pueden ser prolongados usando enfriadores de pegante Casco Adhesives, ya que transfieren temperaturas más bajas para obtener un mayor tiempo de vida y de máquina</p>
<b>Tipo de Prensa</b>	Existen varios tipos de prensa. El mejor tipo de prensa recomendado para este sistema de adhesivo, se encuentra dado en la sección de "Información de operación del Encolado"
<b>Tratamiento de los residuos del agua residual</b>	<p><b>Precipitación Química:</b> Aguas negras municipales con tratamiento biológico. Los aditivos 4411, 4412, y 4413 son productos que deben ser usados para disminuir la cantidad de residuos de pegante en las aguas de desecho.</p> <p>Los productos actúan como floculantes, así aglutinan las partículas de pegante, haciéndolas sedimentar. Después del tratamiento, las aguas residuales tienen un muy bajo contenido de sólidos, lo cual previene que los residuos de agua atoren tuberías y drenajes.</p> <p>Los sedimentos obtenidos, cuando se secan, pueden ser dispuestos con los residuos industriales no peligrosos.</p> <p><u>Recolección de aguas residuales:</u> Una forma fácil de recolectar agua residual con pegante es usar unos barriles vacíos. Es apropiado tener dos o más barriles para este propósito, dependiendo de la cantidad de agua residual y el tiempo que toma la sedimentación para luego formar la precipitación.</p> <p><u>Manejo de agua residual tratada</u> Puede ser que el agua residual normalmente no se permita depositarla en los drenajes sin permiso de las autoridades locales. Si es necesario, contacte con el personal ambiental de Casco Adhesives para comunicarse y pedir asistencia de las autoridades locales.</p> <p><u>Manejo de sedimentos</u> Cuando un barril está lleno de sedimento, deténgalo antes que el sedimento haya secado, preferiblemente a alta temperatura (encima de 50°C/122°F). Los barriles con sedimento seco pueden ser dispuestos después con los residuos industriales no peligrosos. Contáctese con las autoridades locales para saber como disponerlo.</p> <p>Para más información ver información de los productos 4411/4412/4413</p> <p><b>Tratamiento biológico → Vertedero</b> El agua residual con altos niveles de formaldehído algunas veces necesita estar con tratamiento biológico para reducir el formaldehído antes de que pueda ser tratada como agua negra residual en una planta de tratamiento con un paso biológico. Una forma de reducir los</p>

---



niveles de formaldehído es usando micro organismos adaptados para remover dicho químico.

El sistema Biológico de Casco 6263 es un sistema biológico para el tratamiento de tales desechos de agua con adhesivo.

El método de tratamiento biológico reducirá los niveles de formaldehído en las aguas residuales, y luego las aguas lavadas pueden ser llevadas al sistema de drenaje de aguas residuales. Este tratamiento puede ser llevado a cabo en tres pasos, homogenización, sistema biológico y sedimentación y debe secar (preferiblemente por encima de 50°C) y luego puede ser tratado normalmente como un residuo industrial no peligroso.

**Precipitación Mecánica** → La precipitación mecánica (sedimentación) de las aguas negras con tratamiento biológico, es usada para un contenido de sólidos más bajo de las aguas residuales para minimizar el riesgo de atascamiento en los tubos. La sedimentación de las aguas residuales puede ser fácilmente llevada a cabo en un barril vacío o contenedor IBC dependiendo de la cantidad de agua residual que se vaya a tratar. Cuando el contenedor está lleno de desechos estos deberán ser secados preferiblemente por encima de los 50°C y pueden después ser tratados como residuos industriales no peligrosos. La fase acuosa puede no ser normalmente vertida directamente en el drenaje sin el permiso de las autoridades locales.

**NOTA!** Puede haber diferencias entre las regulaciones locales y nacionales, por lo tanto siempre mantenga un diálogo con las autoridades locales. Si necesita asistencia, contacte personal de QHSE de Casco Adhesives.

### **Vida en almacenamiento (Vida en estante)**

La vida de almacenamiento de un producto es determinada por parámetros tales como la reactividad, la viscosidad y reología. El tiempo de almacenamiento termina cuando la reactividad, viscosidad o reología pasan de un valor de estabilidad relativo, a valores que pueden afectar la calidad del adhesivo.

Una temperatura excesivamente alta acelerará ciertos fenómenos químicos y físicos en algunos productos y acortarán su vida en almacenamiento. Una temperatura extremadamente baja puede causar reacciones irreversibles durante el congelamiento, tales como gelación y formación de grumos.

La humedad también puede jugar un papel importante en el almacenamiento de productos tales como productos en polvo, PUR, y catalizadores de EPI

Si el empaque se deja abierto por un largo tiempo, el pegante puede ser susceptible a formaciones de capas en la superficie. Para evitar la formación de dichas capas, se recomienda mantener el recipiente cerrado cuando el producto no esté en uso.

Si la viscosidad ha incrementado pero la reactividad aún es suficiente, la vida en almacenamiento de algunos productos puede ser prolongada, si el producto puede ser agitado antes de usarlo. Los productos basados en Emulsiones normalmente pueden ser usados tanto como no se espesen o se separen, y no muestren signos de degradación bacteriana (mal olor y baja viscosidad). La separación se



**AkzoNobel**

Tomorrow's Answers Today

---

hace evidente como una capa visible de agua encima del adhesivo. Estas descripciones son guías pero no cumplen para todos los productos. Siempre contacte al personal de Casco Adhesives más cercano para asistencia y recomendaciones.

La vida en almacenamiento y las condiciones se describen en la sección "Especificaciones de producto".

---

**Viscosidad**

La viscosidad está definida como la resistencia de un líquido a fluir. En la sección de "Especificación del producto" se encuentra la viscosidad y especifica si la viscosidad es medida al momento de producir o al tiempo de entrega. La viscosidad puede sufrir pequeños cambios con el tiempo. Tanto como el producto sea usado dentro del tiempo de almacenamiento dado, y bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas, los pequeños cambios en viscosidad no afectarán ni la operación del adhesivo ni la calidad.

La viscosidad es muy dependiente de la temperatura; a altas temperaturas normalmente la viscosidad es baja, y a bajas temperaturas la viscosidad normalmente es alta. Para asegurar una viscosidad homogénea de los componentes del adhesivo, use el enfriador recomendado por Casco Adhesives.

---

**ANEXO 07:**  
**REGISTRO FOTOGRÁFICO**



**Foto N°1** Visita Técnica a las instalaciones de la empresa Postes Wise SAC. en el distrito de Chaclacayo-Lima.



**Foto N°2** Selección de las piezas de madera Tornillo para la fabricación de probetas.



**Foto N°3** Corte y confección de los perfiles dentados



**Foto N°4** Preparación del adhesivo MUF 1242/2542.



**Foto N°5** Encolado de las piezas con perfil dentado.



**Foto N°6** Corte y moldurado de las probetas para el ensayo de tracción paralela a la fibra.



**Foto N°7** Probetas moldeadas para el ensayo de tracción paralela a la fibra.



**Foto N°8** Medición de las dimensiones de probeta a ensayar.



**Foto N°9** Colocación de la probeta para realizarle el ensayo de flexión a 4 puntos.



**Foto N°10** Colocación de la probeta para realizarle el ensayo tracción paralela a la fibra.