



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (*PINUS RADIATA*) PARA USO ESTRUCTURAL

Arq. Andrés Felipe Guzmán Gómez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Artes, Maestría en Construcción
Bogotá D.C., Colombia

2017

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (*PINUS RADIATA*) PARA USO ESTRUCTURAL

Arq. Andrés Felipe Guzmán Gómez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Construcción

Director (a):

MSc Arq. Jorge Enrique Lozano Peña

Línea de Investigación:

Materiales y Estructuras

Grupo de Investigación:

Madera y Guadua - CIBAM

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes, Maestría en Construcción

Bogotá D.C., Colombia

2017

A mis padres, hermanos y familia, quienes han sido mi guía, apoyo y pilar fundamental de mi crecimiento personal y profesional

A Luna y Tobías, por su inagotable amor e incansable compañía durante las largas noches de trabajo y tantos momentos inolvidables.

Lo que hace falta hacer es simple. Hacer más fácil lo que ya es difícil.

Constanza Orbaiz

Agradecimientos

Quiero agradecer a quienes fueron guía y apoyo durante la elaboración de esta tesis de maestría, en primer lugar al Arquitecto Jorge Lozano, por su colaboración guía, paciencia y enseñanzas en todo momento; a María Carolina González, por su total apoyo, colaboración, disposición, paciencia y aportes; a mi compañero de investigación, el Ingeniero Andrés Guerra, por su total disposición, colaboración, apoyo y guía durante el desarrollo de toda la tesis; a los arquitectos David Sebastián Pérez y Laura Catalina Sánchez, por su total disposición cuando fue necesario un apoyo; a José Miguel por su colaboración durante la caracterización macroscópica de las maderas; al Arquitecto Diego Carranza por su contribución y colaboración; a mis compañeros de la maestría y del Grupo de Investigación Madera y Guadua, por sus aportes y apoyo; a Jesús, encargado del taller de maderas de la Facultad de artes, por su incondicional colaboración en la fabricación de las piezas y de las vigas; por ultimo quiero agradecer a todas las personas que de algún modo se involucraron con el proceso de la investigación.

Resumen

Esta investigación pretende abordar la reutilización de diferentes tipos de madera de salvamento, que podemos encontrar en las edificaciones que se demuelen o que se deconstruyen, como parte fundamental de nuevos elementos estructurales (Vigas), los cuales están unidos con Pino Radiata (*Pinus Radiata*) y unidos por medio del uso del adhesivo Melanina Urea Formaldehído (MUF - 1242) del sistema de laminado pegado estructural (MLPE); donde por medio del ensayo normalizado a flexión (ASTM D198 – NTC 5279), se realizaron las pruebas en los prototipos a escala 1:1, de 3 metros de longitud, comprobando el comportamiento estructural de los ensambles propuestos y los requisitos de máxima deformación admisible de la norma sismo resistente colombiana (NSR-10) y se obtuvieron valores que están cercanos a los que encontramos en el nivel ES3 de la tabla de maderas estructurales de la NSR-10, avalando el posible uso de estos elementos en sistemas constructivos, ampliando las opciones para los arquitectos y constructores en la selección de los materiales y sistemas principales para las estructuras de las edificaciones, además de contribuir en continuar el ciclo de vida de estos materiales naturales para que hagan parte importante en la cadena de valor de la industria, el medio ambiente y la sociedad.

Palabras Clave: Adhesivo, vigas, estructura, madera, pino, reutilización, deconstrucción

Abstract

This research aims to address the reuse of different types of wood's rescue, which can be found in the buildings that were demolished or deconstructed, as an essential part of new structural elements (beams), which are Radiate Pine (*Pinus Radiate*) joined and attached using adhesive melanin Urea formaldehyde (MUF - 1242) of the system of structural glued laminated (MLPE); where through the trial standard bending (ASTM D198 - NTC 5279), testing was performed in the prototypes on scale 1:1, 3 meters in length, checking the structural behavior of the proposed assemblies and the maximum deformation requirements of the Colombian seism resistant standard (NSR-10) and values were obtained that are close to those found at the ES3 level of the structural timber Table of the NSR-10, endorsing the possible use of these elements in constructive systems, extending The options for architects and builders in the selection of the main materials and systems for building structures, as well as contributing to the continuation of the life cycle of these natural materials to make an important part in the Value chain of industry, environment and society.

Keywords: Adhesive, beams, structure, wood, pine, reuse, deconstruction

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Abstract	X
Lista de figuras	XIV
Lista de tablas	XVIII
Lista de Símbolos y abreviaturas	XX
Introducción	1
Justificación	3
Objetivos	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
1. Estado del Arte	7
1.1 Deconstrucción y reutilización de materiales	7
1.2 Materias Primas.....	12
1.2.1 Pino Radiata	13
1.2.2 Maderas de Salvamento	13
1.2.3 Madera Laminada de Pegada Estructural (MLPE)	15
1.2.3.1 Generalidades de los MLPE.....	16
1.2.3.2 Tipos de adhesivos usados en los MLPE	17
1.2.3.3 Normativa vigente para los MLPE	21
1.3 Antecedentes.....	22
2. Metodología	25
2.1 Selección de materias primas	25
2.1.1 Acopio del material.....	26
2.1.1.1 Material nuevo.....	26
2.1.1.2 Material Reciclado.....	28
2.1.1.3 Adhesivo y Catalizador.....	30
2.1.2 Caracterización visual del material - Recepción	31
2.1.3 Caracterización macroscópica de los elementos seleccionados	32
2.2 Determinación del número de vigas necesarias.....	46
2.3 Determinación de los tipos de ensamble y dimensiones de las vigas	47
2.3.1 Ensamble Tipo 1	47

2.3.2	Ensamble Tipo 2.....	48
2.3.3	Ensamble Tipo 3.....	49
2.3.4	Ensamble Tipo 4.....	49
2.3.5	Ensamble Tipo 5.....	50
2.3.6	Ensamble Tipo 6.....	51
2.4	Fabricación de las piezas para el ensamble de las vigas	51
2.4.1	Proceso de Fabricación de las piezas de madera reciclada.....	51
2.4.2	Proceso de Fabricación de las piezas de Pino Radiata.....	55
2.5	Ensamble de las vigas.....	59
2.5.1	Ubicación de los elementos de unión.....	60
2.5.2	Aplicación del adhesivo	63
2.5.3	Prensado de los elementos.....	65
2.5.4	Clasificación visual de imperfecciones y defectos.....	66
2.6	Determinación del modelo de ensayo.....	67
3.	Ensayos y resultados	69
3.1	Equipos e instrumentos.....	71
3.1.1	Hung Ta Instrument - Ref. HT 2402.....	72
3.1.2	Hidrómetro Electrónico GANN – Hydromette HT 65	72
3.1.3	Comparador de carátula y soporte universal Mitutoyo	73
3.2	Actividades previas a los ensayos.....	74
3.2.1	Preparación de la viga	74
3.2.2	Medición del Contenido de Humedad previa al ensayo.....	75
3.2.3	Montaje de la prueba	76
3.3	Ensayos y resultados	77
3.3.1	Viga S1A.....	78
3.3.1.1	Resultado Viga S1A.....	79
3.3.2	Viga S1B.....	80
3.3.2.1	Resultado Viga S1B.....	81
3.3.3	Viga S2A.....	82
3.3.3.1	Resultado Viga S2A.....	83
3.3.4	Viga S2B.....	84
3.3.4.1	Resultado Viga S2B.....	85
3.3.5	Viga S3A.....	86
3.3.5.1	Resultado Viga S3A.....	87
3.3.6	Viga S3B.....	88
3.3.6.1	Resultado Viga S3B.....	89
3.3.7	Viga S4A.....	90
3.3.7.1	Resultado Viga S4A.....	91
3.3.8	Viga S4B.....	92
3.3.8.1	Resultado Viga S4B.....	93
3.3.9	Viga S5A.....	94
3.3.9.1	Resultado Viga S5A.....	95
3.3.10	Viga S5B.....	96
3.3.10.1	Resultado Viga S5B.....	97
3.3.11	Viga S6A.....	98
3.3.11.1	Resultado Viga S6A.....	99
3.3.12	Viga S6B.....	100
3.3.12.1	Resultado Viga S6B.....	101

4. Análisis de los resultados	103
4.1 Cálculo del cortante en la carga máxima	103
4.2 Cálculo del momento en la carga máxima	104
4.3 Cálculo de la deflexión en la carga máxima	105
4.4 Cálculo del cortante en el límite proporcional.....	106
4.5 Cálculo del momento en el límite proporcional.....	107
4.6 Cálculo de la deflexión en el límite proporcional	108
4.7 Cálculo del eje neutro de la sección.....	109
4.8 Cálculo del momento de inercia (Sección Transformada)	110
4.9 Cálculo del esfuerzo de la fibra en el límite proporcional (Compresión y tracción)	113
4.10 Cálculo del módulo de ruptura (Compresión y tracción).....	114
4.11 Cálculo del Módulo Elástico	116
4.11.1 Método Analítico	116
4.11.2 Método Gráfico.....	117
4.12 Comparación de los resultados obtenidos frente a los resultados de pino radiata	124
4.12.1 Esfuerzo máximo de la fibra en el límite proporcional S_{ft} (Tensión) ...	124
4.12.2 Módulo de elasticidad.....	125
5. Discusión.....	126
6. Conclusiones y recomendaciones.....	129
6.1 Conclusiones	129
6.2 Recomendaciones	130
Bibliografía	132
Anexo A:Formato Clasificación Visual - Recepción	135
Anexo B:Formato Caracterización Macroscópica.....	143
Anexo C: Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	151
Anexo D: Formato Ensayo Flexión ASTM 198D – NTC5279	164

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Jerarquía del manejo de los desechos de demoliciones y construcciones ...	10
Figura 1-2: Evaluación del ciclo de vida de los materiales – Life cycle assesment (LCA)	11
Figura 1-3: Gráfica del método de cascada de recursos	15
Figura 2-1: Inspección visual de las maderas nuevas	26
Figura 2-2: Selección de la madera para los patines de los elementos	27
Figura 2-3: Elementos seleccionados de la madera nueva para los elementos.....	27
Figura 2-4: Acopio del material en las Instalaciones del laboratorio	28
Figura 2-5: Recepción y clasificación de las maderas recicladas	28
Figura 2-6: Caracterización visual del material y selección de piezas	29
Figura 2-7: Retiro de elementos metálicos incrustados	29
Figura 2-8: Acopio de las piezas preparadas para el maquinado	30
Figura 2-9: Adhesivo MUF 1242 y Catalizador HARDENER 2542	30
Figura 2-10: Esquema del formato de clasificación visual – Recepción de madera.....	31
Figura 2-11: Proceso de caracterización macroscópica de las maderas	33
Figura 2-12: Microscopio portátil, marca Panasonic (Ref. FF-393E)	33
Figura 2-13: Esquema del formato de caracterización macroscópica.....	34
Figura 2-14. <i>Otoba lehmanni</i>	35
Figura 2-15. <i>Hymatanthus articularis</i>	36
Figura 2-16. <i>Virola sebifera Aubl</i>	37
Figura 2-17. <i>Billia rosea</i>	38
Figura 2-18. <i>Aniba perutilis Hemsl</i>	39
Figura 2-19. <i>Eucalyptus globulus</i>	40
Figura 2-20. <i>Ocotea sp. Aubl</i>	42
Figura 2-21. <i>Nectandra purpurea (Ruiz & pav.) Mez</i>	43
Figura 2-22. <i>Lauraceae indeterminada</i>	44
Figura 2-23. <i>Couma macocarpa Barb. Rodr</i>	45
Figura 2-24: Esquema del formato de ensamble, dimensiones y tipos de madera	47
Figura 2-25: Esquema del ensamble tipo 1	48
Figura 2-26: Esquema del ensamble tipo 2	48
Figura 2-27: Esquema del ensamble tipo 3	49
Figura 2-28: Esquema del ensamble tipo 4	50
Figura 2-29: Esquema del ensamble tipo 5	50
Figura 2-30: Esquema del ensamble tipo 6	51

Figura 2-31: Retiro de piezas metálicas faltantes	52
Figura 2-32: Extracción de escamaduras, rajaduras y ataque de coleópteros	52
Figura 2-33: Piezas de madera reciclable listas para el maquinado	53
Figura 2-34: Maquinado de las piezas en la planeadora.....	53
Figura 2-35: Maquinado de las piezas en el cepillo eléctrico	54
Figura 2-36: Maquinado de las piezas en la sierra de banco plano	55
Figura 2-37: Acopio de las piezas ya maquinadas para el ensamble.....	55
Figura 2-38: Maquinado de las piezas de Pino Radiata.....	56
Figura 2-39: Corte de las piezas de 200mm de longitud.....	56
Figura 2-40: Maquinado de las láminas de Pino Radiata de 70mm de ancho.....	57
Figura 2-41: Maquinado de las piezas de Pino Radiata en el cepillo	58
Figura 2-42: Corte de los elementos de unión para el armado de las vigas.....	58
Figura 2-43: Acopio de las piezas de pino radiata para el ensamble	59
Figura 2-44: Numeración de las piezas para realizar el ensamble.....	60
Figura 2-45: Conformación de las vigas previo al ensamble.....	60
Figura 2-46: Corrección de las aristas de las piezas	61
Figura 2-47: Proceso de ensamble de los elementos estructurales	62
Figura 2-48: Proceso de anclado neumático de los elementos de unión	62
Figura 2-49: Afinado de las superficies previas al encolado	63
Figura 2-50: Proceso de encolado de los elementos previo al prensado	64
Figura 2-51: Detalle de las guías para la correcta ubicación de los patines.....	64
Figura 2-52: Proceso de prensado y ubicación típica de las piezas en la máquina.....	65
Figura 2-53: Curado de las vigas en el laboratorio de ensayos mecánicos.....	66
Figura 2-54: Esquema del formato de clasificación visual de imperfecciones y defectos	67
Figura 2-55: Producto terminado y listo para ser ensayado	67
Figura 2-56: Esquema del ensayo de la prueba a flexión NTC 5279	68
Figura 3-1: Ejemplo del diagrama del montaje realizado para el ensayo	69
Figura 3-2: Ejemplo del montaje realizado para ensayo	69
Figura 3-3: Ejemplo del montaje con el comparador de carátula para calcular las deformaciones.....	70
Figura 3-4: Esquema del formato utilizado para registrar los datos del ensayo de flexión NTC 5279.....	71
Figura 3-5: Máquina universal con el montaje para realizar el ensayo.....	72
Figura 3-6: Hidrómetro electrónico HT G5 para medir el % de contenido de humedad..	73
Figura 3-7: Montaje del comparador de carátula y el soporte universal	73
Figura 3-8: Montaje del ensayo según la norma NTC 5279.....	74
Figura 3-9: Alistamiento de las vigas para el ensayo	75
Figura 3-10: Medición del contenido de humedad con el hidrómetro HT-65 en la viga S3A	75
Figura 3-11: Gráfico del montaje para realizar el ensayo.....	76
Figura 3-12: Fotografía del montaje durante uno de los ensayos.	76
Figura 3-13: Montaje gráfico de la viga S1A	78
Figura 3-14: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S1A	78

Figura 3-15: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S1A extraída del software U.T.M.....	79
Figura 3-16: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S1A.....	79
Figura 3-17: Montaje gráfico de la viga S1B.....	80
Figura 3-18: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S1B	80
Figura 3-19: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S1B extraída del software U.T.M.....	81
Figura 3-20: Fotografía de la falla mecánica frágil presentada en la viga S1B	81
Figura 3-21: Montaje gráfico de la viga S2A.....	82
Figura 3-22: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S2A	82
Figura 3-23: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S2A extraída del software U.T.M.....	83
Figura 3-24: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S1A.....	83
Figura 3-25: Montaje gráfico de la viga S2B.....	84
Figura 3-26: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S2B	84
Figura 3-27: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S2B extraída del software U.T.M.....	85
Figura 3-28: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S2B.....	85
Figura 3-29: Montaje gráfico de la viga S3A.....	86
Figura 3-30: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S3A	86
Figura 3-31: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S3A extraída del software U.T.M.....	87
Figura 3-32: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S3A.....	87
Figura 3-33: Montaje gráfico de la viga S3B.....	88
Figura 3-34: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S3B	88
Figura 3-35: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S3B extraída del software U.T.M.....	89
Figura 3-36: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S3B.....	89
Figura 3-37: Montaje gráfico de la viga S4A.....	90
Figura 3-38: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S4A	90
Figura 3-39: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S4A extraída del software U.T.M.....	91
Figura 3-40: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S4A.....	91
Figura 3-41: Montaje gráfico de la viga S4B.....	92
Figura 3-42: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S4B	92
Figura 3-43: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S4B extraída del software U.T.M.....	93
Figura 3-44: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S4B.....	93
Figura 3-45: Montaje gráfico de la viga S5A.....	94
Figura 3-46: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S5A	94
Figura 3-47: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S5A extraída del software U.T.M.....	95
Figura 3-48: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S5A.....	95

Figura 3-49: Montaje gráfico de la viga S5B 96

Figura 3-50: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S5B 96

Figura 3-51: Gráfica carga Vs. deformación de la viga S5B extraída del software U.T.M 97

Figura 3-52: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S5B 97

Figura 3-53: Montaje gráfico de la viga S6A 98

Figura 3-54: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S6A 98

Figura 3-55: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S6A extraída del software U.T.M 99

Figura 3-56: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S6A 99

Figura 3-57: Montaje gráfico de la viga S6B 100

Figura 3-58: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S6B 100

Figura 3-59: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S6B extraída del software U.T.M 101

Figura 3-60: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S6B 101

Figura 4-1: modelado de la viga en SAP2000 v.19 110

Figura 4-2: Cálculo de la deflexión y MOE por medio de elementos finitos 110

Figura 4-3: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S1A 118

Figura 4-4: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S1B 119

Figura 4-5: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S2A 119

Figura 4-6: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S2B 119

Figura 4-7: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S3A 120

Figura 4-8: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S3B 120

Figura 4-9: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S4A 120

Figura 4-10: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S4B 121

Figura 4-11: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S5A 121

Figura 4-12: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S5B 121

Figura 4-13: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S6A 122

Figura 4-14: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S6B 122

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Tipos de deconstrucción.....	8
Tabla 1-2: Tipos de adhesivos en madera para uso estructural y su adecuación con la clase de servicio	19
Tabla 2-1: Especies encontradas en la caracterización macroscópica	34
Tabla 3-1: Contenido de humedad viga S1A previo al ensayo.....	78
Tabla 3-2: Contenido de humedad viga S1B previo al ensayo.....	80
Tabla 3-3: Contenido de humedad viga S2A previo al ensayo.....	82
Tabla 3-4: Contenido de humedad viga S2B previo al ensayo.....	84
Tabla 3-5: Contenido de humedad viga S3A previo al ensayo.....	86
Tabla 3-6: Contenido de humedad viga S3B previo al ensayo.....	88
Tabla 3-7: Contenido de humedad viga S4A previo al ensayo.....	90
Tabla 3-8: Contenido de humedad viga S4B previo al ensayo.....	92
Tabla 3-9: Contenido de humedad viga S5A previo al ensayo.....	94
Tabla 3-10: Contenido de humedad viga S5B previo al ensayo.....	96
Tabla 3-11: Contenido de humedad viga S6A previo al ensayo.....	98
Tabla 3-12: Contenido de humedad viga S6B previo al ensayo.....	100
Tabla 4-1: Resumen de datos del ensayo y cálculo del cortante _{max}	103
Tabla 4-2: Resumen de datos del ensayo y cálculo del momento _{max}	104
Tabla 4-3: Resumen de los datos del ensayo y cálculo de la corrección del desplazamiento.....	105
Tabla 4-4: Deflexión corregida en la carga máxima.....	105
Tabla 4-5: Resumen de datos del ensayo y cálculo del cortante _p	106
Tabla 4-6: Resumen de datos del ensayo y cálculo del momento _p	107
Tabla 4-7: Resumen de los datos del ensayo y cálculo de la corrección del desplazamiento.....	108
Tabla 4-8: Deflexión corregida en el límite proporcional	108
Tabla 4-9: Resumen de datos de las vigas y cálculo del eje neutro.....	109
Tabla 4-10: Cálculo del coeficiente necesario para calcular el área de la sección transformada.....	111
Tabla 4-11: Resumen de datos de las vigas y cálculo de la inercia	112
Tabla 4-12: Resumen de las propiedades mecánicas y valores de resistencia Sf_c	113
Tabla 4-13: Resumen de las propiedades mecánicas y valores de resistencia Sr_c	114
Tabla 4-14: Resumen de las propiedades mecánicas y valores de resistencia MOE_A ..	117
Tabla 4-15: Resumen de las propiedades mecánicas y valores de resistencia MOE_g ..	123

Tabla 4-16: Esfuerzo máximo de la fibra en el límite proporcional a tensión	124
Tabla 4-17: Módulo de elasticidad MOE	125

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolo	Término	Unidad SI	Ecuación
P	Carga máxima	kgf	
L	Luz entre apoyos	mm	
A	Distancia entre al apoyo y la carga	mm	
H	Altura	mm	
S_f	Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional	MPa	$S_f = \frac{m_{lp} * c}{\sum I_{ST}}$
S_r	Módulo de ruptura	MPa	$S_r = \frac{m * c}{\sum I_{ST}}$
E	Módulo de Elasticidad	MPa	$\frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$
P_{lp}	Carga en el límite proporcional	N	
b	Base de la sección	mm	
b_A	Base del alma	mm	
b_{PR}	Base del pino radiata		
h	Altura de la sección	mm	
h_A	Altura del alma	mm	
h_{PR}	Altura del Pino Radiata		
$F_{b,f}$	Resistencia admisible a la flexión MLPE de radiata Según la norma NCh 2165	MPa	
$F_{m,g,k}$	Resistencia a la flexión MLPE, según el Código técnico de la edificación de España	MPa	
v	Cortante	N	$v = \frac{P}{2}$
v_{lp}	Cortante en el límite proporcional	N	$v_{lp} = \frac{P_{lp}}{2}$

m	Momento	N*mm	$m = \frac{P*a}{2}$
m_{lp}	Momento en el límite proporcional	N*mm	$m_{lp} = \frac{P_{lp}*a}{2}$
I_{ST}	Inercia	mm	$I_{ST} = \frac{b_{PR}*h_{PR}^3}{12} + 3L * 2a^2$
n	Coefficiente de corrección		$n = \frac{MOE_A}{MOE_P}$
Y	Eje neutro	mm	$Y = \frac{A_1*Y_1+A_2*Y_2+A_3*Y_3}{A_1+A_2+A_3}$
c	Distancia del eje neutro a la fibra mas alejada	mm	
Δ	Deflexión	mm	
Δ_{lp}	Deflexión en el límite proporcional	mm	
σ	Esfuerzo	MPa	
$\mu\Delta$	Ductilidad		$\mu\Delta = \frac{\Delta}{\Delta_{lp}}$
Σ	Sumatoria		

Superíndices

Superíndice Término

N	Exponente, potencia
---	---------------------

Abreviaturas

Abreviatura	Término
MLPE	Madera laminada Pegada Estructural
MUF	Melamina Urea Formaldehído
MOE	Módulo de Elasticidad
LCA	Evaluación del Ciclo de Vida

Introducción

Hoy en día las respuestas al déficit de vivienda, al cambio climático y a la inestabilidad del sector de la construcción en el país, nos obliga a buscar nuevos elementos estructurales de bajo costo que estén alineados en dar respuesta de manera eficiente a cada una de esas problemáticas, buscando en el ciclo de vida de las edificaciones y de los materiales que las componen, cuales elementos pueden ser reutilizados, unidos y puestos nuevamente en uso, ya sea el mismo sistema o como parte de otro, cumpliendo la misma función, que sea económicamente, estéticamente y técnicamente viable.

Partiendo de esas premisas, en la experiencia profesional encontramos que las maderas que provienen de procesos constructivos (construcciones, demoliciones, deconstrucciones, etc....) vienen afectadas en alguna medida por agentes biológicos, químicos, ambientales y daños por incrustaciones (Metálicas, plásticas, etc....), por los diversos usos y tipos de sistemas estructurales que se usaban en la época donde fueron utilizadas o instaladas, pero al realizar una revisión, encontramos que conservan sus características físicas y propiedades mecánicas las cuales pueden ser el material base para poder elaborar nuevos elementos o productos con el fin de evitar el cierre de su ciclo de vida, además de hacer parte de procesos consecuentes, donde los desperdicios resultantes de la elaboración de estos nuevos productos, también puedan hacer parte de otros procesos con diversas industrias explotando al máximo el material y puedan ser parte integral del proceso de reutilización¹.

¹ Esta reutilización del material, proviene de una corriente investigativa y técnica que se llama deconstrucción, la cual parte del reciclaje y la reutilización de los materiales de las edificaciones que son demolidas para dar lugar a una nueva, donde estos materiales de salvamento pueden servir de base para la elaboración de nuevos elementos o productos para las edificaciones y demás sectores a los cuales pueda llegar, con el fin de mantener y alargar el ciclo de vida del material para reducir la explotación y/o producción de nuevos material que afecta al medio ambiente, acrecienta el gasto de energía y aumenta la emisión de CO₂ a la atmosfera.

Por esto, durante el desmonte y cambio de la cubierta del edificio 238 (Posgrados de ciencias económicas) de la Universidad Nacional de Colombia, se plantea la idea de reciclar estas vigas en madera que han estado protegidas de las diferentes condiciones medio ambientales, conservando sus propiedades físicas y mecánicas durante algunos años, para ser reutilizadas y unidas con elementos nuevos de Pino Radiata (*Pinus Radiata*), unidos por medio del adhesivo Melamina Urea Formaldehído (MUF), el cual es ampliamente utilizado en los sistemas de Madera Laminada de Pegada Estructural (MLPE), buscando que los prototipos a escala 1:1 de 3 metros de longitud, al ser evaluados mediante el ensayo normalizado a flexión (ASTM D198 – NTC 5279), se logre comprobar su correcto armado, encolado, su gran versatilidad por las diversas formas que pueden producirse industrialmente, los diversos usos a los que posiblemente estén destinados y obtener claramente los valores de resistencia que permita avalar su uso según la NSR-10, ser comparadas con respecto a las resistencias que poseen algunas vigas que están producidas industrialmente a nivel mundial y si es favorable o no, en relación a costos, resistencias, durabilidad, sostenibilidad y mercados.

Estos elementos hacen parte de un nuevo mercado que está en constante desarrollo, debido a que en el país se está iniciando un camino donde se deja la posibilidad de investigar y ahondar más en estos procesos, logrando nuevos avances en esta corriente de reutilización y en la nueva tecnología estructural que puede mejorar las condiciones de vida de muchas personas en el país, debido a que este sistema puede ser utilizado desde casas unifamiliares hasta lugares con grandes luces por vencer, permitiendo contribuir de manera sustentable y sostenible a los proyectos.

Es esta la base de la investigación, proveer más información y estudios acerca de temas y sistemas novedosos que poco son conocidos en países como el nuestro debido al tradicionalismo que nos caracteriza en las obras de construcción y en los proyectos arquitectónicos, además de contribuir al uso eficiente de recursos que son desechados todos los días, permitiéndoles por medio del reciclado y la reutilización, prolongar su ciclo de vida permitiendo una segunda vida útil.

Justificación

Actualmente, los procesos de reurbanización y rehabilitación de algunas zonas en las ciudades afecta lugares en donde encontramos edificios patrimoniales o edificaciones antiguas que poseen sistemas de cubiertas con estructura en madera, la cual ha estado allí por algún tiempo y que han sido protegidas de las patologías ambientales, químicas y físicas a las que pudieron estar expuestas, conservando en gran medida sus capacidades físico-mecánicas, que hoy en día, por medio de la caracterización que se ha realizado en diversas investigaciones, se ha encontrado que son maderas con altas prestaciones mecánicas, muy densas y que actualmente se consideran finas, como por ejemplo el roble Flormorado, la cual es una madera ampliamente utilizada en sistemas estructurales donde se ponen a prueba sus grandes capacidades portantes y estéticas.

Y en la mayoría de los casos, estas piezas de madera, al terminar la restauración o la demolición, son desechadas y dispuestas para su descomposición en los sitios destinados para ello, acarreando más gastos debido a que no se tiene una política apropiada para este tipo de desechos, lo que nos permite evidenciar un campo de investigación desde el ciclo de vida de las edificaciones partiendo de la reutilización de los materiales maderables para que puedan ingresar nuevamente a la cadena de valor y se utilicen como materia prima para el desarrollo de nuevos elementos estructurales que puedan competir con los sistemas tradicionales utilizados por los arquitectos. Adicionalmente a esto, en estos procesos podemos encontrar no solo especies únicas utilizadas en el campo de la construcción, sino además, especies madereras que no han sido contempladas dentro del sector y que hoy en día son utilizadas en otros aspectos industriales en

donde las características que se buscan para su uso, no contemplan su resistencia, ni las propiedades físicas y mecánicas que en la gran mayoría de los casos deben ser caracterizadas y catalogadas para cambiar e identificar sus posibles usos.

En el mundo podemos evidenciar que la reutilización de materiales y elementos estructurales que provienen de procesos de deconstrucción, poseen avances tanto en los estudios teóricos como en los diversos usos que sirvieron como materia prima para el desarrollo de nuevos productos, lo cual ha generado que ya, en países como E.E.U.U, hayan políticas desde los entes gubernamentales para la evaluación, control y posibles usos de estos materiales dentro de la cadena de la industria, impulsando a la creación de empresas dedicadas a estos y a los diversos procesos que se deriven de la deconstrucción.

Las diversas investigaciones en el ámbito colombiano se han liderado desde los institutos de investigaciones tecnológicas especialmente de la Universidad Nacional de Colombia Liderado por la ingeniera Caori Takeuchi , la ingeniera Patricia Luna, el arquitecto Jorge Lozano además de los arquitectos Fernán Díaz y Liliana Rosero, ellos han investigado la utilización de maderas tropicales que pueden tener mayores capacidades portantes y mejores características físico-mecánicas que las especies tradicionales usadas en Europa , E.E.U.U o Chile (Barreto, 2013), cabe resaltar que se deberá realizar con diferentes tipos de maderas y densidades, siendo de allí de donde emerge el tema de la investigación.

La investigación busca encontrar un sistema que sea económico, eficiente, versátil y de muy buenas prestaciones mecánicas para que pueda hacer parte de los elementos estructurales que son ampliamente utilizados en el país, además de encontrar un proceso industrial sencillo para que pueda ser replicable en cualquier condición o situación para suplir la necesidad de vivienda o de espacio

cubierto al que sea solicitado. Adicionalmente permitiría encaminar una nueva línea investigativa en torno a la deconstrucción y reutilización de los materiales, en especial las piezas de madera resultantes de estos procesos con el fin de contribuir en la reducción de la explotación de las especies en el país.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el comportamiento mecánico a flexión, en vigas estructurales de madera reutilizada unidas con pino radiata (*Pinus Radiata*), utilizando el adhesivo Melamina-Urea Formaldehido del sistema de madera laminada pegada estructural (MLPE).

Objetivos Específicos

- Identificar las maderas recicladas seleccionadas y las configuraciones más adecuadas de reforzamiento para la elaboración de los prototipos.
- Medir el comportamiento estructural de los ensambles propuestos partiendo de los requisitos de máxima deformación admisible de la norma sismo resistente colombiana.
- Evaluar mediante el ensayo normalizado a flexión (ASTM D198 – NTC 5279), los prototipos a escala 1:1 de 3 metros de longitud para comprobar su correcto armado, encolado, tipos de falla y módulo de elasticidad.
- Comparar los resultados en la etapa experimental con respecto a los esfuerzos admisibles en estudios actuales y previos en Colombia, con el fin de encontrar ventajas y desventajas de la utilización de maderas recicladas en los MLPE.

1.Estado del Arte

1.1 Deconstrucción y reutilización de materiales

La deconstrucción se entiende como el desmontaje sistemático de edificios para maximizar la reutilización y el reciclaje de materiales recuperados, en donde se busca mantener la mayor cantidad de propiedades físicas y mecánicas para que se permita la reutilización o el reciclaje de manera eficiente (Chini & Bruening, 2004), el proceso de la deconstrucción también se describe como la construcción en reversa, siendo una alternativa a la demolición que es amigable con el medio ambiente y rentable económicamente (B. Endicott, A. Fiato, S. Foster, T. Huang, 2007), adicionalmente entidades de gobierno en Estados Unidos describen la deconstrucción como, una técnica que se utiliza para rescatar valiosos materiales de construcción, reducir la cantidad de desechos que envían a los vertederos y mitigar otros impactos ambientales (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2008).

Algunas de las ventajas que tiene la deconstrucción sobre la demolición convencional son:

- Mayor tasa de desvío de los residuos de demolición de los vertederos
- Posible reutilización de componentes de construcción
- Mayor facilidad de reciclaje de materiales.
- Protección ambiental mejorada, tanto a nivel local como global.
- La deconstrucción preserva la energía corporal incorporada de los materiales, reduciendo así la entrada de nueva energía incorporada en el reprocesamiento o la remanufactura de materiales, reduciendo así el consumo de combustibles fósiles (Kibert, Chini, & Languell, 2001)
- Preservación Histórica de los elementos arquitectónicos en otras edificaciones
- Opciones económicas para que las comunidades adquieran materiales de construcción.
- Para las edificaciones que están obteniendo certificaciones LEED, pueden ganar puntos al reutilizar materiales o elementos en el nuevo edificio. (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2008)

En el contexto norteamericano, existen 2 tipos diferentes de deconstrucción, la deconstrucción no estructural y la deconstrucción estructural, que pueden tomar lugar en los proyectos y se diferencian por el tipo de elementos que pueden extraer y el tiempo en el que pueden tardar buscando beneficios económicos, en la siguiente tabla se puede establecer las diferencias entre los dos tipos:

Tabla 1-1: Tipos de deconstrucción

Deconstruction Type	Description	Characteristics	Types of Salvaged Materials
<p>Non Structural (i.e. soft – stripping)</p>	<p>The removal for reuse of any building contents that do not affect the structural integrity of the building.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Requires less planning and coordination than structural deconstruction. • Materials can be viewed and removed without much destructive access. • Uses few tools, and materials are salvaged relatively easily with minimum safety concerns. • Does not have a significant effect on project schedule. 	<ul style="list-style-type: none"> • Finish flooring. • Appliances. • Cabinetry. • Windows / doors. • Trim. • HVAC equipment. • Fixtures / Hardware. • Fireplace mantels.
<p>Structural</p>	<p>The removal for reuse of building components that are an integral part of the building, or contribute to the structural integrity of the building.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Involves a range of tools and mechanization. • Heightened safety consideration, and longer time – frame. • Materials removed are typically large, rough products that are reuses as building materials or remanufactured into value added products. 	<ul style="list-style-type: none"> • Framing. • Sheathing. • Roof systems. • Brick / masonry. • Wood timbers / beams. • Wood rafters. • Floor joist system.

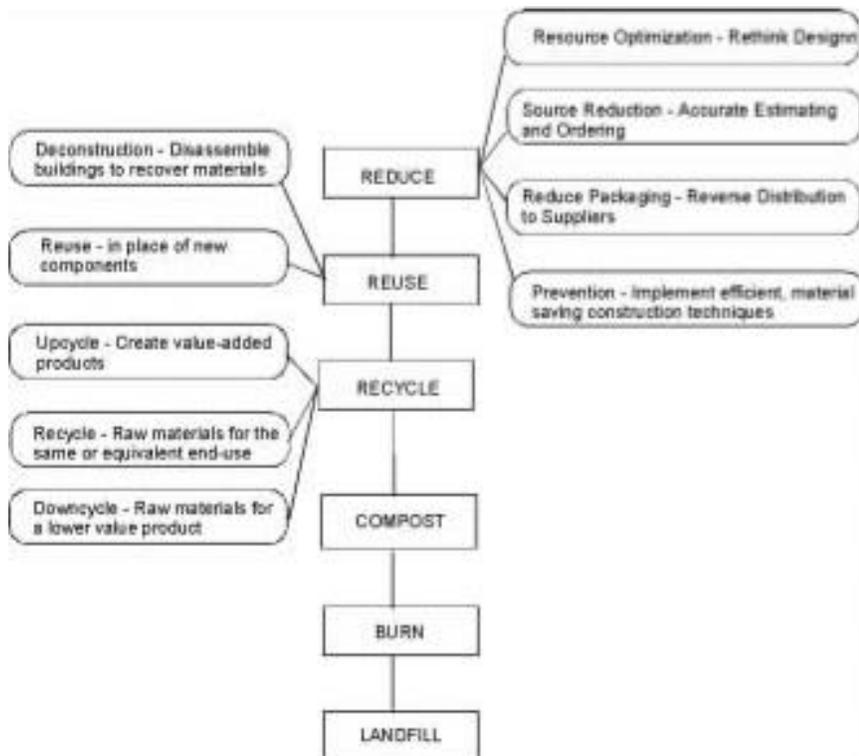
Source: Adapted from U.S. Department of Housing and Urban Development (2000, 2001).

FUENTE: (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2008)

La situación actual de estos procesos a pesar de que hay muchas ventajas sobre los métodos tradicionales de demolición, todavía falta superar muchos desafíos, que, en el contexto del pensamiento, diseños, procesos constructivos y hasta en la política, a nivel mundial, en donde algunos de estos desafíos son:

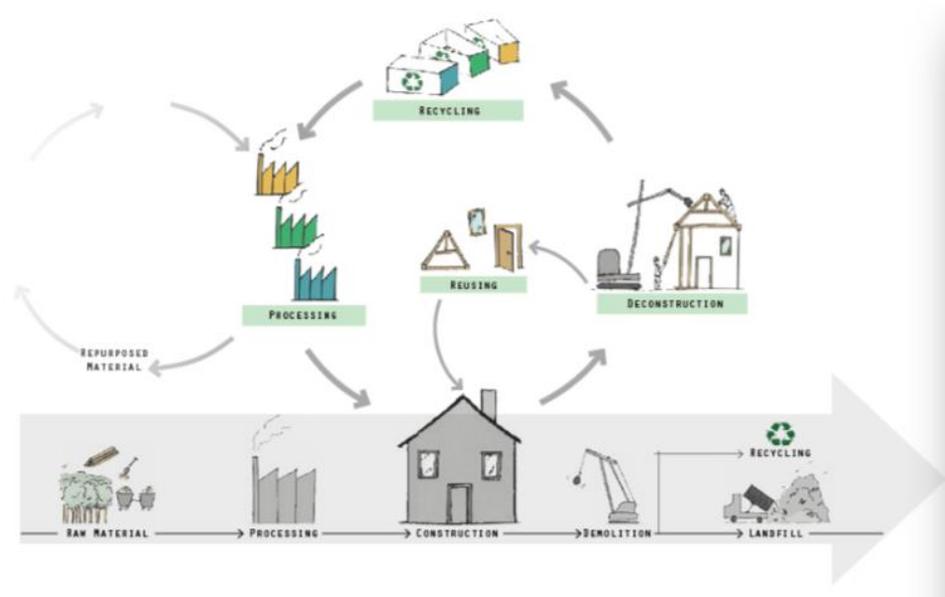
- La existencia de edificios que no han sido diseñados para el desmantelamiento.
- Los elementos y/o componentes de construcción no han ido diseñados para el desmontaje.
- No existen herramientas para deconstruir edificios.
- Los costos de la eliminación de los desechos de demolición son muy bajos.
- El desmantelamiento de los edificios toma tiempo adicional con respecto a la demolición.
- Los códigos de construcción y los estándares de materiales a menudo no abordan la reutilización de componentes de construcción.
- Factores de costos desconocidos en el proceso de la deconstrucción.
- Falta de identidad de la industria con prácticas acordes a la deconstrucción.
- Beneficios económicos y ambientales que no están bien establecidos.

De todos modos, la deconstrucción ha ganado popularidad en los últimos años debido a que ha sido investigada, desarrollada y promovida por profesionales del área de la arquitectura, la construcción y ambiental, ya que ha demostrado que es altamente eficaz para alcanzar los objetivos de la reutilización y reciclaje de los materiales al mismo tiempo que se reduce la cantidad de los desechos que se depositan en los vertederos. (B. Endicott, A. Fiato, S. Foster, T. Huang, 2007)

Figura 1-1: Jerarquía del manejo de los desechos de demoliciones y construcciones

FUENTE: (Kibert et al., 2001)

Conociendo que hay una reducción en los materiales de demolición, se debe minimizar la extracción de materias primas y el gasto energético para la producción de nuevos materiales de construcción, se ha planteado en diversos textos cómo deben ser manejados los desechos para optimizar desde la deconstrucción la reutilización de estos materiales como insumos para nuevos materiales o ser recolocados a cumplir otra función, lo cual permitiría reducir el gasto energético de la producción de nuevos materiales, los cuales ya deben tener como premisa la reutilización y el reciclaje en etapas posteriores a su vida útil en cualquier edificación, con el fin de controlar que se puedan generar productos de valor a futuro con las piezas o materiales que los compone, y que sus desperdicios o materiales que ya no puedan dar un valor agregado a otros elementos, puedan ser utilizados como combustible para la producción de un nuevo material con el fin de cerrar el ciclo de vida de ese material. (Kibert et al., 2001).

Figura 1-2: Evaluación del ciclo de vida de los materiales – Life cycle assesment (LCA)

FUENTE: (West Michigan Shoreline Regional Development Commission, 2017)

Actualmente existe una corriente arquitectónica que parte de las premisas de la deconstrucción llamada Design for Deconstruction (DfD), la cual, puede contemplar como su inicio vernacular y primitivo en las tribus indígenas, las cuales debían realizar sus edificaciones en relación con su entorno, principalmente porque necesitaban ser móviles, cambiantes y transformables, ya que estas se montaban y desmontaban según sus patrones migratorios. (Guy & Ciarimboli, 2006)

En la cultura tradicional Japonesa se combinaron la madera, el clima templado y la geografía propensa a terremotos, en un estilo arquitectónico basado en la carpintería, la artesanía y en el desarme, donde se incluye además un proceso de administración de los elementos ya que con cada nueva iteración del diseño hay la necesidad de reutilizar elementos provenientes de otras edificaciones que parten de la misma premisa (Guy & Ciarimboli, 2006)

Además si vamos a tiempos más cercanos, el DfD estuvo inmerso en el Estilo Internacional propuesto por Le Corbusier y Mies Van der Rohe quienes iniciaron con los movimientos del Open Building y arquitectura adaptativa hacia el años 1940 -1960, que partían de la construcción modular, plantas libres, sistemas estructurales expuestos y la utilización de materiales como el concreto, acero, piedra y vidrio, los cuales se contemplan hoy en día como materiales reciclables (Davison & Tingley, 2011)

También se puede considerar que el estilo “hi-tech” de Renzo Piano ilustran muchos principios del DfD, ya que conciben la idea de la planta libre interna y que todos los sistemas de la edificación estén fuera sujetos a la estructura, permitiendo que el espacio interno pueda ser adecuado y modificado sin afectar las instalaciones. (Guy & Ciarimboli, 2006)

1.2 Materias Primas

En la actualidad dentro del sector de la construcción, uno de los materiales subutilizados y que más desechos genera es la madera (Barreto Castañeda, 2013) la cual es utilizada en procesos constructivos secundarios, como por ejemplo el montaje de formaletas y la madera de sacrificio, sirviendo de protección para recubrimientos arquitectónicos de elementos estructurales; Estos a su vez, no demuestran las verdaderas capacidades físico-mecánicas que posee la madera y por medio de esta investigación se busca plantear un método para reciclar estas maderas, producto de demoliciones, obras nuevas y rehabilitaciones que han estado protegidas durante algunos años y que conservan sus capacidades y propiedades físico-mecánicas intactas, las cuales podrían ser utilizadas nuevamente al ser implementadas como material base para los sistemas de Madera Laminada Pegada Estructural (MLPE), siendo sistemas ampliamente utilizados a nivel mundial para vencer grandes luces y grandes cargas. (Barreto Castañeda, 2013)

1.2.1 Pino Radiata

El pino radiata es la especie más importante que utiliza la industria maderera chilena, ya que es altamente utilizado en productos manufacturados, maderas aserradas, productos laminados y demás usos secundarios, esta especie tiene una superficie plantada superior a 1.4 millones de hectáreas, que corresponde al 67.8% del total de la superficie de plantaciones en el país .(Vega & Aguilera, 2007).

Como parte importante de los MLPE está el pino radiata, el cual es altamente utilizado a nivel internacional ya que cuenta con propiedades mecánicas importantes como lo es una densidad de 500 kg/m³, una resistencia a flexión estática de 874 kg/cm², un módulo de elasticidad de 90.000 kg/cm² y una resistencia a la compresión de 434 kg/cm² (Fernández, Norero, Vera, & Pérez, 2011) al igual que otras, esta se encuentra catalogada en una publicación de la Asociación de Investigación de las industrias de la Madera (AITIM) (AITIM, 1997; NCh & INN, 2006) las cuales son ordenadas por su densidad.

Es primordial el conocimiento de sus propiedades estructurales para el uso adecuado en el ámbito de la construcción. Recientemente se han creado diversas normativas tanto a nivel europeo como a nivel chileno que establecen la forma en que se regula este proceso, evidenciando el esfuerzo de actualizar las metodologías y datos de las especies madereras según los nuevos requisitos (Hermoso, Carballo, & Fernandez-Golfin, 2007)

Esta especie permite un nivel alto de encolado, por esto mismo es una de las especies más utilizadas en los sistemas MLPE, ya que eleva significativamente la resistencia mecánica según la densidad, lo cual es un indicador de que el material no falla por la línea de cola, sino por la ruptura de las fibras del pino radiata(Carmona, Espinoza, & Bull, 1998).

1.2.2 Maderas de Salvamento

La madera es un material natural que ha sido utilizado durante miles de años como material de construcción, es uno de los primeros materiales que se utilizaron en el planeta en compañía de la piedra para realizar las primeras edificaciones y que a través

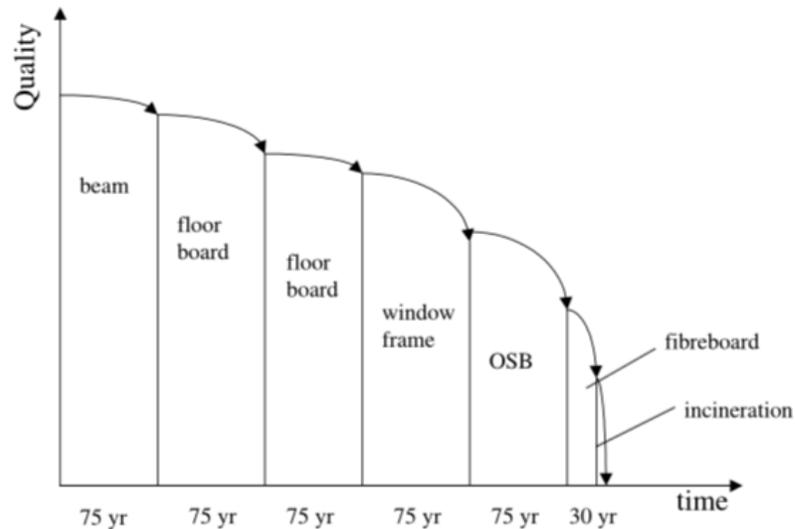
del tiempo fueron la base desarrollar otros materiales hasta que fue desplazado por materiales como el concreto y el acero, los cuales tienen un desarrollo tecnológico más avanzado y su difusión ha generado confianza en diseñadores y constructores. (Junta del acuerdo de Cartagena, 1982)

Actualmente, estamos pasando por un cambio cultural debido a que se deben generar procesos industriales sostenibles, procesos constructivos sostenibles y la búsqueda por realizar edificios amigables con el medio ambiente, con el fin de generar un movimiento creciente para rescatar y reutilizar los materiales en pro de reducir la huella de carbono, reducir la explotación de los recursos, acelerar procesos de reforestación y minimizar el impacto de la contaminación en el planeta. Generando que se incentive a la creación de materiales sostenibles o reutilizar los elementos provenientes de las deconstrucciones (Bergman, Gu, Falk, & Napier, 2010)

Estos materiales dependen de los diferentes procesos que se realizaron durante la construcción, ya que es muy importante que los sistemas estructurales de madera sean fáciles de desmontar y de retiro manual de las posibles adecuaciones metálicas para el ensamble, ya que estos elementos, tales como tornillos, calvos, platinas, etc., determinan su reutilización debido a las diferentes dimensiones que se utilizan en el sistema, entre menor sean sus dimensiones, las opciones de ser reutilizadas serán menores, así mismo entre más grandes, mayores serán sus opciones para entrar a ser parte del proceso de creación de un nuevo elemento (Zabusova, 2014), pero actualmente no se permite el uso de madera recuperada para aplicaciones estructurales debido a las afectaciones que provocaron las conexiones clavadas y atornilladas ya que presentan una afectación en su resistencia (B. Endicott, A. Fiato, S. Foster, T. Huang, 2007), la cual depende de las cargas externas durante su servicio, ya que pueden provocar cambios permanentes en el material que no pueden verse a simple vista hasta que el comportamiento reológico de la madera describa físicamente qué sucedió; para evitar esto es necesario tener la trazabilidad de cada elemento, temperatura, carga máxima y las características del material, con esto se puede deducir la tasa de reducción de la resistencia de estas maderas por la sucesión de usos del material en diferentes productos.(Kránitz, Sonderegger, Bues, & Niemz, 2016).

Es importante ver que hay varios tipos de reciclaje y reutilización en la madera y todos dependen de la forma como se conserva la capacidad estructural, en la gran mayoría de los casos, la madera reciclada es utilizada como insumo para ser incinerada y para ser reutilizada en las edificaciones; en los procesos de deconstrucción estos materiales son de escaso uso , si son realizados de manera cuidadosa y se realiza un pretratamiento, se consideran como material de alta calidad, pero si el proceso reduce la calidad, entonces el nivel de reutilización y el tipo de producto en el que pueden ser aplicados, baja sustancialmente, y para conocer qué tipo de producto puede ser manufacturado, se utiliza la gráfica del método de cascada de recursos para contrastar la calidad Vs. tiempo de la explotación. (Goverse, Hekkert, Groenewegen, Worrell, & Smits, 2001)

Figura 1-3: Gráfica del método de cascada de recursos



FUENTE: (Fraanje, 1998)

1.2.3 Madera Laminada de Pegada Estructural (MLPE)

Se definen los sistemas de MLPE generalmente como “madera laminada” la cual, es la unión de tablas a través de sus cantos, caras y extremos, con sus fibras en su misma dirección, conformando un elemento no limitado en escuadría ni en largo, y que funciona como una sola unidad estructural (Pérez Galaz, 1992).

Se puede realizar la clasificación de las maderas laminadas dependiendo del tipo de uniones que se usen, “*si se realizan uniones de láminas de madera por medio de clavos*”

se denomina madera laminada clavada, si se utilizan pernos se puede nombrar como madera laminada pernada, y cuando las uniones se realizan por medio de colas o adhesivos, se llaman madera laminada encolada o pegada". (Pérez Galaz, 1992)

Siendo estas últimas, la más utilizadas en el ámbito estructural y es por esto mismo que se escogió para la actual investigación de MLPE con maderas recicladas debido a que con los demás sistemas sus longitudes son restringidas a cortas luces. Siendo los dos tipos de materiales que serán usados y como elemento base la madera con su respectivo corte y el adhesivo a usar que dependiendo las necesidades será seleccionado. (Stürzenbecher, Hofstetter, & Eberhardsteiner, 2010) (Contreras, Valero, Thomson, Owen de C, & Barrios, 2007)

1.2.3.1 Generalidades de los MLPE

Como parte importante de los MLPE tiene ciertas maderas que son altamente utilizadas a nivel internacional y se encuentran catalogadas en una publicación de la Asociación de Investigación de las industrias de la Madera (AITIM) (AITIM, 1997; NCh & INN, 2006) las cuales son ordenadas por su densidad:

1) Pino radiata (*Pinus Radiata*).

Propiedades mecánicas

Densidad: 500 kg/m³

Resistencia a flexión estática: 874 kg/cm²

Módulo de elasticidad: 90.000 kg/cm²

Resistencia a la compresión: 434 kg/cm²

(Fernández et al., 2011)

2) Pino silvestre (*Pinus sylvestris*)

Propiedades mecánicas

Densidad: 510 kg/m³

Resistencia a flexión estática: 1057 kg/cm²

Módulo de elasticidad: 94.000 kg/cm²

Resistencia a la compresión: 406 kg/cm²

3) Pino Oregón o Abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*).

Propiedades mecánicas

Densidad: 530 kg/m³

Resistencia a flexión estática: 860 kg/cm²

Módulo de elasticidad: 128.000 kg/cm²

Resistencia a la compresión: 525 kg/cm²

4) Pino Gallego (*Pinus pinaster*).

Propiedades mecánicas

Densidad: 530 kg/m³

Resistencia a flexión estática: 795 kg/cm²

Módulo de elasticidad: 74.000 kg/cm²

Resistencia a la compresión: 400 kg/cm²

Estas maderas son un avance importante en cuanto a la normalización que fue paulatinamente acogida por los países debido a la Implementación de la norma UNE EN 1149 del año 1999 y de vigencia continua en la cual se especifica claramente el sistema estructural de estos sistemas así como también su armado, donde además esta norma se caracteriza por determinar las clases de resistencia y sus valores característicos, suministra información sobre sus valores de resistencia a la flexión, a tracción a compresión y a cortante y fija los valores de módulos de elasticidad y la densidad básica. (Fernandez-Golfin Seco, Diez Barra, & Hermoso Prieto, 1995)

1.2.3.2 Tipos de adhesivos usados en los MLPE

Los adhesivos para los MLPE son polímeros fabricados químicamente para el encolamiento y unión de piezas de madera en grandes vigas para ser solicitadas a cargas por las luces que vencen, los adhesivos más empleados son los de la poli condensación de fenoles o del tipo aminoplásticos y los de poliuretano. (CSCAE, 2011)

Los adhesivos más utilizados en la actualidad en el mundo, según la clase de servicio 1, 2 o 3, son:

- Melamina-Urea-Formaldehído (MUF).

- Resorcina-Fenol-Formaldehído (RPF).
- Poliuretano (PU).

Que poseen 2 etapas de adhesión que las cuales contemplan según (Hoheisel, 1998), se dividen en:

- *“La adhesión mecánica: causada por la penetración de la cola y su anclaje en los poros de las superficies a pegar. Debido a que las fuerzas capilares, la cola líquida penetra por los poros a la madera antes de ser fraguado.*
- *La adhesión específica, basada en las fuerzas moleculares (formación de la línea de cola” (Hoheisel, 1998)*

Gracias a la gran variedad de adhesivos en la industria de MLPE, se utilizan primordialmente los adhesivos sintéticos a base de formaldehído, debido a su bajo costo del resto de tipos de pegamentos, en casos especiales se usan los poliuretanos y/o adhesivos epóxicos dado que estos altamente costosos por su alta tecnología, los de caseína están restringidos para usos interiores por lo cual son solicitados a bajas cargas. (Aenor, 1995)

Para comprender las clases de servicio y así evaluar los costos del proyecto, las cuales son los tipos de edificaciones y necesidades que deben resistir estos sistemas estructurales, se tomará en cuenta la definición que se observa en el texto (Aenor, 2005)(Quevedo, 2000)

- *“Clase de servicio 1. Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20°C y una humedad relativa del aire que solo exceda el 65% unas pocas semanas al año.*
- *Clase de servicio 2. Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del aire que solo exceda el 85% unas pocas semanas al año.*
- *Clase de servicio 3. Condiciones ambientales que conduzcan a contenido de humedad superior al de la clase de servicio 2.”*

Tabla 1-2: Tipos de adhesivos en madera para uso estructural y su adecuación con la clase de servicio

Tipos		Abrev.	Clase de servicio			Observaciones
			1	2	3	
1 FD	Fenol-formaldehido	PF	apto	apto	apto	Adhesivo para encolar en caliente (110°C - 140°C); adecuado para fabricación de tableros de madera. Líneas de cola marrón oscuro.
	Resorcina-fenol-formaldehido	RPF	apto	apto	apto	Líneas de cola marrón oscuro.
	Resorcina-formaldehido	RF	apto	apto	apto	Líneas de cola marrón oscuro.
	Melamina-urea-formaldehido	MUF	apto	apto	poco apto	Preferentemente para encolar por encima de 30°C. Líneas de cola transparentes.
	Urea-formaldehido	UF	apto	poco apto	no apto	No adecuada para una humedad relativa del aire elevada y simultánea con una temperatura por encima de 50°C. Líneas de cola transparentes.
2 PA	Poliuretano	PU	apto	apto	apto	Aptitud reducida para rellenar las juntas. El fabricante indicará las prestaciones ante el fuego. Líneas de cola transparentes.
	Resinas epoxi	EP	apto	apto	apto	No adecuada para temperaturas superiores a 50°C. Apta para juntas gruesas. Presión de encolado reducida. Líneas de cola transparentes.
3 CA	Caseína	---	apto	poco apto	no apto	Es necesario un fungicida. Líneas de cola transparentes.

FUENTE: (Ministerio de Vivienda – España, 2003)

Y así mismo según la tabla anterior y a lo largo de las investigaciones históricas de los MLPE se ha logrado identificar 3 clases típicas de adhesivos ya sean derivados de los productos naturales u orgánicos o las resinas sintéticas realizadas en laboratorio, donde son propiciadas por medio de la alta tecnología e ingeniería molecular, (Quevedo, 2000) donde se presenta una breve descripción de los tipos de adhesivos utilizados en los MLPE:

- *“Adhesivos Orgánicos: La mayoría de los adhesivos orgánicos, son los generados a base de proteínas. Aunque los productos antiguos de madera consolidada fueron hechos usando los pegamentos naturales de la proteína, estos enlaces*

son durables solamente a niveles de baja humedad y presentan problemas a niveles de alta humedad. El adelanto más grande en el desarrollo de los adhesivos naturales, son los de la harina de la soja que permitieron que el laminado interior se convirtiera en un reemplazo rentable de la madera sólida. Algunas de las composiciones naturales que forman adhesivos son: colas de proteínas, adhesivos de Tanino, adhesivos de lignina.

- *Adhesivos sintéticos, o Formaldehidos: son los adhesivos para madera más comunes, aquellos a base de fenol Formaldehido (PF), resinol Formaldehido (RF), fenol-Resinol Formaldehido (PRF), adhesivos Urea Formaldehidos, adhesivos Formaldehidos de Melanina o una mezcla de los mismos. Son colas de tiempo de vida muy limitado (alrededor de 4 horas), por lo que deben formularse un momento antes de utilizarlas, mezclando la resina con el catalizador, cargas y disolventes necesarios. El fraguado se produce por la poli condensación de la resina, al reaccionar con el catalizador en un tiempo que depende de la temperatura ambiente y de la proporción de resina y catalizador. Salvo en las colas de resorcina, en que el fraguado se puede realizar a partir de los 15°C, las demás necesitan temperaturas de más de 20°C, pero su tiempo de fraguado es tan alto, que lo normal es aplicar temperaturas de 70 a 140°C, reduciendo su tiempo de fraguado a apenas unos segundos.*
- *Adhesivos Epóxicos y poliuretanos: son ampliamente utilizados debido a su buena resistencia ambiental y la capacidad de enlazar a una variedad amplia de superficies, incluyendo la madera, metales, plásticos, cerámica, y concreto. Tiene un uso general menor en la vinculación de madera porque son más costosos que la mayoría de los adhesivos de madera, y en algunos casos, su durabilidad es limitada. Por otra parte, estos son adhesivos estructurales capaces de curar a temperaturas ambiente, tienen la habilidad que llena cualquier fisura, y enlazan a muchas otras superficies, mientras que la mayoría de los pegamentos de madera requieren un curado a base de calor, no cubren fisuras y no enlazan con otros substratos".(Quevedo, 2000)*

1.2.3.3 Normativa vigente para los MLPE

Normas Europeas

En la normativa internacional, se puede apreciar que en Europa, América del Norte y Chile están a la vanguardia de la investigación frente a temas relacionados con sistemas estructurales, (AITIM, 1997; NCh & INN, 2006) los cuales ya han sido utilizados en algunos proyectos a escala internacional y en donde está siendo altamente requerida la especie pino, principalmente el Pino Radiata en Europa y América del Norte y el Pino Patula en Chile y demás países que están en una continua investigación.

Otra normativa a referenciar se encuentra en un artículo de la Revista AITIM en el cual se explica la nomenclatura y los tipos de clasificación que propicia la norma:

“La nomenclatura de las clases de resistencia en madera laminada es distinta a la considerada en la madera sólida (UNE EN 338) ya que en este caso todas las clases de resistentes (cualquiera que sea la familia del producto) empiezan con las letras GL, van seguidas de dos números indicativos de la clase y que informan sobre la resistencia característica a la flexión (MOR) del material (expresada en N/mm²) y finalizan bien por una h (minúscula) o una c (minúscula), que informa si la estructura es homogénea (la sección transversal de la pieza está construida con láminas de la misma calidad y especie) o combinada (toda la sección transversal de la pieza construida con láminas de distintas calidades y/o especies) de esta manera existen dos clases, denominadas genéricamente GLxxh y GLxxc, donde las x pueden ser sustituidos por cuatro posible números (24, 28, 32 y 36).”. (AITIM, 1997; NCh & INN, 2006)

Normas Suramericanas

En cuanto a la industria y normatividad en Latinoamérica, es posible observar el alto uso del pino radiata, debido a su desarrollo y largas investigaciones; existen además una gran variedad de normas dentro de la normativa técnica chilena (NCh) (AITIM, 1997; NCh & INN, 2006), que están dirigidas a la utilización única de esta especie para la fabricación de MLPE, siendo una de las normas principales la NCh 2148-2006 (madera laminada encolada – requisitos e inspección) teniendo como objetivo cada uno de los pasos y requisitos para la producción de MLPE siendo la guía en la gran mayoría de

fabricaciones de estos sistemas, donde además de esta normativa es necesario revisar la NCh 2165-1991 (tensiones admisibles para madera laminada encolada estructural de pino radiata) para la evaluaciones de las capacidades físico-mecánicas de esta especie.

Normativa Colombiana

En cuanto a Colombia, no se posee ninguna NTC destinada a este tipo de sistemas estructurales, para su producción, evaluación, metodologías y todo lo requerido para la caracterización físico-mecánicas, provocando la adaptación de las normas UNE, ASTM y las NCh en el contexto colombiano que es tan diverso, evitando el surgimiento de una nueva línea de mercado y de investigación como lo propuesto en esta tesis.

1.3 Antecedentes

En cuanto a las investigaciones de los sistemas estructurales de MLPE, la Universidad Nacional de Colombia ha llevado la batuta, (Barreto, 2013) donde se resaltan, el trabajo de grado de la arquitecta Liliana Rosero, titulado *Estructuras Laminadas con Maderas Tropicales*, la cual se desarrolló con base a la investigación de la experimentación y pruebas de laboratorio para la utilización de especies latifoliadas en el sistema de laminado pegado estructural y se planteó la utilización de una madera tropical con una densidad parecida a los pinos que se utilizan en los sistemas industrializados para comprobar su resistencia al corte y flexión y su comparación entre las dos especies de Pino (Pino Patula y Pino Radiata).

La tesis del arquitecto Fernán Díaz para obtener el título como Magister en Construcción en madera, titulada *Maderas tropicales en la fabricación de laminado encolado estructural*, la cual tenía como propósito, “*iniciar un estudio sistemático que permita demostrar el potencial que tienen las maderas tropicales para la producción de madera laminada encolada estructural*” (Barreto, 2013), siendo muy similar a la de la arquitecta Liliana Rosero, desarrollando investigación de la experimentación y pruebas de laboratorio para la utilización de especies latifoliadas, en el sistema de laminado pegado estructural y se planteó la utilización de una madera tropical con una densidad parecida a los pinos que se utilizan en los sistemas industrializados, para comprobar su resistencia

al corte y flexión, y su comparación entre las dos especies de Pino (Pino Patula y Pino Radiata), pero con la diferencia de que se utilizó el modelo francés que es muy similar a la normativa chilena.

La tesis del Arquitecto José Sediel Barreto para obtener el título de Magister en Construcción, titulada *Estudio de propiedades físico mecánicas (corte y flexión) de la especie de madera tropical Teca (tectona grandis) en el sistema de laminado pegado estructural*, la cual toma como referencia la utilización de la especie maderera Teca para la caracterización físico-mecánica de los MLPE con este tipo de madera realizando ensayos a Corte y Flexión evaluando sus capacidades portantes por medio de las NTC y demás ensayos internacionales para avalar la investigación de otro tipo de madera tropical que puede dar excelentes resultados dentro de los MLPE en la industria Colombiana, abriendo nuevos campos no solo en la industria sino también en la agronomía del país.(Barreto Castañeda, 2013)

Actualmente en el sector empresarial ha sido difícil la implementación de programas de investigación y desarrollo de nuevas técnicas y mejora de la tecnología debido a que por su parte el uso de este sistema estructural ha sido, de alguna manera, restringido debido a la falta de conocimiento que existe sobre sus capacidades; pese al alto potencial de materia prima que tiene el país, por su diversidad.

En Colombia, la producción de este tipo de madera laminada es muy baja para la construcción de grandes edificaciones en el país, por ende, es usada principalmente para fabricar elementos de ornamentación como escaleras, marcos para ventanas, pisos etc.(Barrera, 2011).

Hoy en día las investigaciones están iniciando, liderados por los grupos de investigación de la Universidad Nacional, surgiendo desde el Grupo de Investigación de Madera y Guadua (GIMG), como por ejemplo la tesis del Ingeniero Andrés Felipe Guerra la cual está encaminada a probar la resistencia de vigas de madera recubiertas con guadua laminada y esta investigación con base en la reutilización de maderas reciclables para la elaboración de MLPE

2. Metodología

2.1 Selección de materias primas

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron 3 materias primas para la elaboración de las vigas: láminas, elementos de unión y bloques de pino radiata (*Pinus radiata*) importado de Chile, maderas de salvamento de diferentes especies y el adhesivo Melamina Urea Formaldehído (MUF-1242) con su respectivo catalizador, HARDENER 2542. La selección de las láminas, elementos de unión y bloques de pino radiata, se realizó evaluando criterios de rendimiento, disponibilidad comercial y variedad, por consiguiente, se decidió trabajar con tablas cepilladas de 35mm de espesor, 190mm de ancho, 3962mm de longitud (Referencia comercial, 1½"x8"x3962mm) para obtener los elementos de unión y los bloques; adicionalmente se trabajó con tablas cepilladas de 19mm de espesor, 230mm de ancho, 3200mm de longitud (Referencia Comercial, 1" x 10" x 3200mm) para obtener las láminas de pino de 10mm de espesor, 70mm de ancho y 3000mm de longitud para elaborar las vigas².

En caso de las maderas de salvamento, se utilizaron las tablas de 45mm de espesor, 200mm de ancho, 3000mm y 4000mm de longitud, que se recibieron del cambio de la cubierta del edificio 238 (Posgrados de ciencias económicas) de la Universidad Nacional de Colombia, con las cuales se obtuvieron los elementos para el alma de las vigas de 35mm de espesor, 160mm de ancho y de varias longitudes (200mm, 650mm, 867mm, 1300mm, 2600mm) según el ensamble propuesto.

El adhesivo a utilizar se seleccionó evaluando criterios de rendimiento, disponibilidad comercial, variedad, precio, resistencia, características técnicas de pegado y duración de prensado. Por estas condiciones se decidió utilizar el adhesivo Melamina Urea

²Adquiridas al almacén de grandes superficies Homecenter (Sodimac Colombia S.A.)

Formaldehido (MUF-1242) con su respectivo catalizador Hardener 2542³, además porque es uno de los pegantes usados a nivel mundial para la elaboración de elementos de los sistemas MLPE, el cual fue preparado con una proporción de 100:15 partes de peso por cada sustancia, 100g de MUF -1242 y 15g del catalizador Hardener 2542.

2.1.1 Acopio del material

2.1.1.1 Material nuevo

Para realizar la adquisición de las maderas de Pino Radiata (*Pinus Radiata*) en el almacén de grandes superficies, se revisaron las diferentes características físicas que según la NSR-10 deben tener los elementos, tales como distancia mínima entre los nudos, no aparición de medula, nudos sanos, continuidad de la fibra, abolladuras, fisuras, etc. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Figura 2-1: Inspección visual de las maderas nuevas



³Adquiridos a la empresa Derivados Químicos S.A.S (Producto Importado).

Figura 2-2: Selección de la madera para los patines de los elementos



El Pino Radiata que se adquirió, es importado desde Chile, se encuentra con un contenido de humedad del 12%, ya que fue secado por medio de cámara de calor para un mayor control de estabilidad dimensional y ubicado en la estantería de forma apilada para evitar deformaciones por flexión.

Figura 2-3: Elementos seleccionados de la madera nueva para los elementos



Figura 2-4: Acopio del material en las Instalaciones del laboratorio



2.1.1.2 Material Reciclado

En cuanto al material reciclado, este material se recibió aproximadamente hace 1 año al realizarle la solicitud al contratista que realizó el desmonte de la cubierta, con la autorización expresa del área de gestión ambiental de la Universidad, la cual nos depositó las maderas en el patio posterior del edificio 314 (SINDU) para realizar la caracterización visual del material.

Figura 2-5: Recepción y clasificación de las maderas recicladas



Figura 2-6: Caracterización visual del material y selección de piezas



Estas maderas estuvieron expuestas a condiciones medio ambientales (Procesos de Húmedo – Seco – Húmedo, contacto con el pasto, aplicación de peso por tránsito de personal, etc.) durante el retiro de algunas piezas metálicas que no se realizó en la obra de rehabilitación y de la disposición previa al alistamiento en el taller de maderas.

Figura 2-7: Retiro de elementos metálicos incrustados



Figura 2-8: Acopio de las piezas preparadas para el maquinado



2.1.1.3 Adhesivo y Catalizador

El conjunto de sustancias necesarias para la realizar esta investigación, fueron adquiridos en la empresa Derivados Químicos, la cual importa las sustancias de la empresa Akzo Nobel para renvalsarlas en Medellín - Colombia, se les solicitó el envío de 25kg del adhesivo Melamina Urea Formaldehido (MUF -1242) y 5kg del catalizador HARDENER 2542 para poder tener buenas cantidades de ambas sustancias por si había lugar a desperdicios y además porque hay una tesis en paralelo que está utilizando ambas sustancias .

Figura 2-9: Adhesivo MUF 1242 y Catalizador HARDENER 2542



2.1.2 Caracterización visual del material - Recepción

Durante la Recepción de las maderas de salvamento que fueron solicitadas para el desarrollo de esta tesis, fue necesario desarrollar un formato de Caracterización Visual del material ya que al desconocer su origen, las condiciones a las cuales estuvo expuesto, las diferentes afectaciones de coleópteros que sucedieron a través del tiempo, las fallas generadas en los elementos durante su estado de servicio y demás afectaciones, están consignados en un formato por cada pieza o tabla que se recibió.

Figura 2-10: Esquema del formato de clasificación visual – Recepción de madera

	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
	GRUPO	G6	Clasificación Visual - Recepción de madera	Formato FEDTM VI-1A
	Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán	Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
	Fecha:	05-sep-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
	DEFECTO	PARAMETRO	DESCARTAR	FOTOGRAFIAS
1	ALABEOS			
	Abarquillado	<0.01d		
	Arqueadura	<0.003L		
	Encorvadura	<0.003L		
	Torcedura	<0.003L		
2	ARISTA FALTANTE (una sola cara)	Max. 0.25d Max. 0.25L		
3	DURAMEN QUEBRADIZO	NO		
4	ESCAMADURAS (una sola cara)	<0.1b <0.25b		
5	FALLA DE COMPRESIÓN	NO		
6	GRANO INCLINADO	MAX. 1:8		
7	GRIETA SUPERFICIAL	SUMA<0.25b	5	
8	MEDULA	NO		
9	PUDRICIÓN	NO	4	
10	RAJADURAS	Long max = b		
11	MANCHAS	NO	2	
12	NUDOS ARRACIMADOS	NO		
13	DIMENSIONES MINIMAS	<0.18m	1	
Observaciones Generales:	Numeración de izquierda a derecha, 5 elementos para este grupo			

FUENTE: Elaborado por el autor.

Este formato está basado en la tabla G.1.3-1 (Tolerancia de la madera aserrada de uso estructural) del título G *Estructuras de madera y estructuras de guadua*, capítulo G.1 *Requisitos Generales* de la NSR 10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica, 2010) y en las consideraciones que están contempladas en la NTC 2500 (Uso de la madera en la construcción), los cuales nos indican como realizar la clasificación visual de las maderas que pueden ser utilizadas estructuralmente y determinar por medio de la misma las que no cumplen los parámetros mínimos. (ICONTEC, 1997) **(Ver Anexo B)**

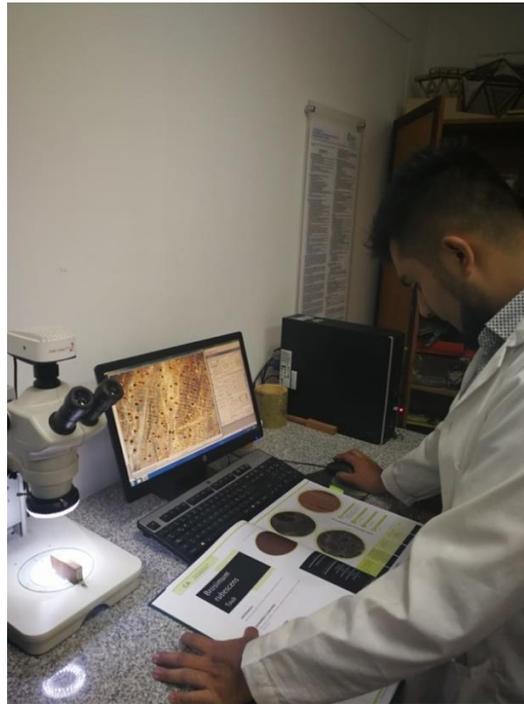
Adicionalmente, con la clasificación realizada donde se obtuvieron las piezas necesarias para elaborar las secciones de las vigas y con las piezas descartadas con los defectos vistos durante la inspección, que de ahora en adelante se denominaron como desperdicio pudimos encontrar los siguientes defectos:

- Arista Faltante
- Escamaduras
- Fisuras
- Grietas
- Pudrición
- Manchas por ataques químicos

Durante la inspección de las vigas se encontró que las superficies externas estaban afectadas por las condiciones de uso y del ambiente, donde se evidenciaban afectaciones de rango medio (Fisuras, escamaduras, rajaduras) dificultando el proceso de selección, en la gran mayoría de los casos solo se pudo evidenciar la totalidad de las afectaciones hasta que no se realizó el maquinado de los elementos, previo a la realización de los ensambles, generando que algunas maderas fueran desechadas después del proceso de maquinado

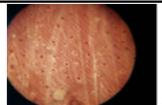
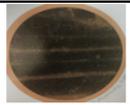
2.1.3 Caracterización macroscópica de los elementos seleccionados

Para realizar cualquier tipo de ensamble y poder entrar a maquinar las piezas, fue necesario conocer que tipos de especie de madera podíamos encontrar en la diversa selección de elementos para conformar las vigas, por tal motivo al no conocer su origen, lugar de explotación y no poseer mayor información de las maderas, fue necesario recopilar pequeñas muestras de cada uno de los elementos para que por medio del microscopio se pudiera identificar cada una de las especies y así tener mayor información sobre las propiedades técnicas y realizar la conformación de las vigas pensando en las cargas y esfuerzos durante los ensayos.

Figura 2-11: Proceso de caracterización macroscópica de las maderas**Figura 2-12:** Microscopio portátil, marca Panasonic (Ref. FF-393E)

Adicionalmente se generó un formato para poder realizar la caracterización Macroscópica de los elementos seleccionados y así poder tener la comprensión total del tipo de madera y todas sus características físicas y mecánicas donde se encuentran consignados datos muy relevantes como la densidad básica, Módulo de elasticidad, módulo de ruptura, etc.... la cual es información clave para poder diseñar los diferentes ensambles y disposiciones de los elementos

Figura 2-13: Esquema del formato de caracterización macroscópica

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL	
Madera Tipo	6	CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA	Formato FCM MT-5
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán	Director:	Arq. Jorge Enrique Lozano
Fecha:	30-oct-17	Maestría en Construcción Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
MADERA TIPO 1			
NOMBRE COMÚN	Comino, chachajo, laurel comino, mediocomino	PROPIEDADES FÍSICAS	
SINÓNIMOS	Aniba compacta	DENSIDAD BÁSICA (g/cm ³)	0.52
NOMBRE CIENTÍFICO	Aniba perutilis Hemsl	CONTRACCIÓN RADIAL %	4.8
FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA		CONTRACCIÓN TANGENCIAL %	8
		CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA %	12.8
CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS		RELACION CT/CR	1.7
COLOR	Amarillo oliva (2.5Y 6/6), sin transición entre albura y duramen	PROPIEDADES MECANICAS	
VETADO	Lineas vasculares	MODULO DE RUPTURA kg/cm ²	1227
COLOR	Distintivo	MODULO DE ELASTICIDAD t/cm ²	121
LUSTRE	Brillante	COMPRESION PARALELA kg/cm ²	653
CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS		COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm ²	109
PLANO TRANSVERSAL GENERAL		DUREZA EN LOS LADOS kg	429
		TENACIDAD kg-m	0.65
PLANO TANGENCIAL		OTRAS ESTRUCTURAS	
		Ausente	
PLANO TRANSVERSAL DETALLE		ANILLOS DE CRECIMIENTO	
		VASOS	
ANILLOS DE CRECIMIENTO		PARENQUIMA AXIAL	
Indistintos o ausentes		No notorio aún con aumento de 20X	
VASOS		PARENQUIMA RADIAL	
Poros visibles a simple vista, solitarios y múltiples de 2-3 poros con algunos		Visibles con aumento de 10X en el plano transversal. Estratificación ausente.	

FUENTE: Elaborado por el autor.

De esta caracterización macroscópica pudimos obtener los siguientes tipos de madera los cuales tienen cada uno su formato y pueden ser consultados en los formatos de caracterización macroscópica (**Ver anexo C**):

Tabla 2-1: Especies encontradas en la caracterización macroscópica

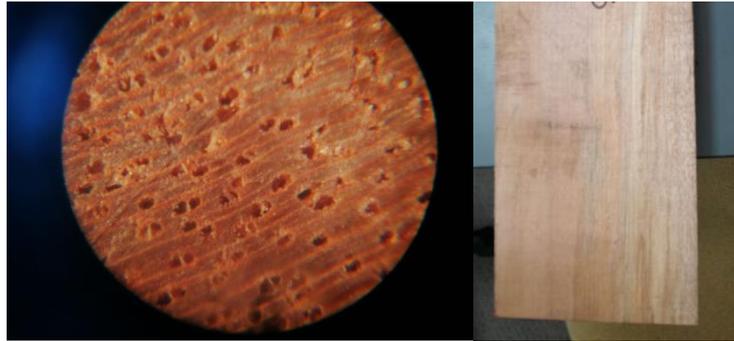
Número	Especie	Nombres comunes
MT-1	<i>Otoba lehmanni</i>	Cuangularé, otobo
MT-2	<i>Hymatanthusarticulatus</i>	Platanote
MT-3	<i>Vitexsp.</i>	Laurel
MT-4	<i>Osteosphloemumplatyspermum</i>	Sangretoro
MT-5	<i>Billia rosea</i>	Cariseco
MT-6	<i>Anibasp o Ocotea</i>	Laurel, comino
MT-7	<i>Eucalyptusglobulus</i>	Eucalipto
MT-8	<i>Ocoteasp o Anibasp</i>	Laurel, comino
MT-9	<i>Nectandra</i>	Amarillo
MT-10	<i>Lauraceae indeterminada</i>	--
MT-11	<i>Coumamacrocarpa</i>	Perillo

FUENTE: Elaborado por el autor.

En este proceso se identificaron las siguientes especies:

***Otoba lehmanni*:**

Figura 2-14. *Otoba lehmanni*



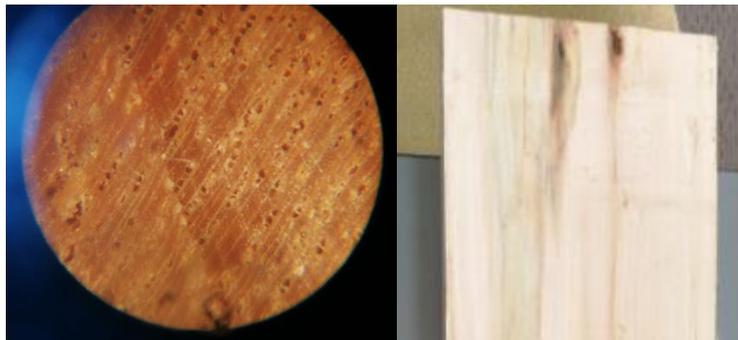
FUENTE: Elaborado por el autor.

- Nombre común: Cuángare, Otobo, Castaño, Nuánamo.
- Estado de la conservación: Vulnerable.
- Distribución: Colombia y Ecuador, en Colombia se encuentra en los departamentos de Amazonas, Antioquia, Cauca, Chocó, Cundinamarca y Nariño. En altitudes inferiores a los 2.920 msnm.
- Características organolépticas:
 - Color: Amarillo rojizo (7.5YR 7/6), sin diferencia entre albura y duramen.
 - Veteado: Líneas vasculares.
 - Olor: No distintivo.
 - Lustre: Mate
- Características macroscópicas:
 - Anillos de crecimiento: Indistintos o ausentes.
 - Vasos: Poros visibles con aumento de 10X, predominantemente múltiples de 2 – 3 poros con algunos solitarios; porosidad difusa, sin orientación; sin inclusiones. Líneas vasculares visibles a simple vista.
 - Parénquima axial: Indistinto o ausente.
 - Parénquima radial: Visible con aumento de 10X en el plano transversal. Estratificación ausente.
- Propiedades físicas:
 - Densidad Básica: 0.5 g/cm³.

- Contracción Radial: 5.7%
- Contracción Tangencial: 8.7%
- Contracción Volumétrica: 13.9%
- Relación CT/CR: 1.5
- Propiedades mecánicas:
 - Módulo de ruptura: 1208 kg/cm²
 - Módulo de elasticidad: 157 t/cm²
 - Compresión paralela 3: 687 kg/cm²
 - Compresión perpendicular: 57 kg/cm²
 - Dureza en los lados: 390 kg
 - Tenacidad: 2.11 kg m

***Hymatanthus articularis*:**

Figura 2-15. *Hymatanthus articularis*



FUENTE: Elaborado por el autor.

Especie sin caracterizar.

Virola sebifera Aubl:**Figura 2-16.** *Virola sebifera Aubl*

FUENTE: Elaborado por el autor.

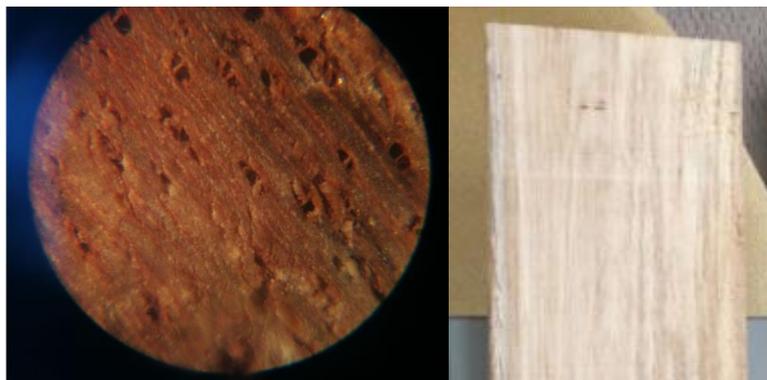
- Nombre común: Sangretoro.
- Estado de la conservación: No evaluada.
- Distribución: Se encuentra en Antillas, Guyana, Surinam, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Brasil. En Colombia se encuentra en los departamentos de Amazonas, Antioquia, Caquetá, Cauca, Chocó, Córdoba, Guainía, Guaviare, La Guajira, Magdalena, Meta y Santander. En altitudes entre los 2 y 1330 msnm.
- Características organolépticas:
 - Color: Albura de color marrón muy pálido (10YR 8/3), con transición gradual al duramen de color marrón (7.5YR 5/4)
 - Veteado: Líneas vasculares
 - Olor: No distintivo
 - Lustre: Brillante
- Características macroscópicas:
 - Anillos de crecimiento: Indistintos o ausentes.
 - Vasos: Visibles a simple vista, múltiples de dos a tres poros con algunos solitarios; porosidad difusa, sin orientación, sin inclusiones. Líneas vasculares visibles a simple vista.
 - Parénquima axial: No notorio con aumento de 20X.
 - Parénquima radial: Visibles con aumento de 10X en el plano transversal. Estratificación ausente.

- Propiedades físicas:
 - Densidad Básica: 0.37 g/cm³.
 - Contracción Radial: 4.5%
 - Contracción Tangencial: 11.5%
 - Contracción Volumétrica: 15.5%
 - Relación CT/CR: 2.7

- Propiedades mecánicas:
 - Módulo de ruptura: 624 kg/cm²
 - Módulo de elasticidad: 100 t/cm²
 - Compresión paralela 3: 354 kg/cm²
 - Compresión perpendicular: 27 kg/cm²
 - Dureza en los lados: 216 kg
 - Tenacidad: 0.61 kg m

Billia rosea:

Figura 2-17. *Billia rosea*



FUENTE: Elaborado por el autor.

Especie sin caracterizar.

Aniba perutilis Hemsl:**Figura 2-18.** *Aniba perutilis Hemsl*

FUENTE: Elaborado por el autor.

- Nombre común: Comino, chachajo, laurel comino, mediocomino.
- Estado de la conservación: En peligro crítico.
- Distribución: Se encuentra desde Colombia hasta Bolivia. En Colombia se encuentra en los departamentos de Antioquia, Huila, Meta, Santander y Valle del Cauca, entre los 0 y 2400 msnm.
- Características organolépticas:
 - Color: Amarillo oliva (2.5 Y 6/6) sin transición entre albura y duramen
 - Veteado: Líneas vasculares
 - Olor: Distintivo
 - Lustre: Brillante
- Características macroscópicas:
 - Anillos de crecimiento: Indistintos o ausentes.
 - Vasos: Poros visibles a simple vista, solitarios y múltiples de 2 – 3 poros, con algunos arracimados; porosidad difusa, sin orientaciones; presencia de tílides.
 - Parénquima axial: No notorio con aumento de 20X
 - Parénquima radial: Visibles con aumento de 10X en el plano transversal, estratificación ausente.
- Propiedades físicas:
 - Densidad Básica: 0.52 g/cm³.
 - Contracción Radial: 4.8%
 - Contracción Tangencial: 8.0%

- Contracción Volumétrica: 12.8%
- Relación CT/CR: 1.7
- Propiedades mecánicas:
 - Módulo de ruptura: 1227 kg/cm²
 - Módulo de elasticidad: 121 t/cm²
 - Compresión paralela 3: 653 kg/cm²
 - Compresión perpendicular: 109 kg/cm²
 - Dureza en los lados: 429 kg
 - Tenacidad: 0.65 kg m

Eucalyptus globulus:

Figura 2-19. *Eucalyptus globulus*



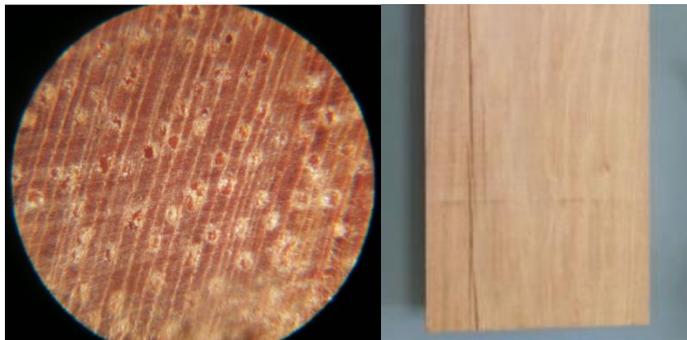
FUENTE: Elaborado por el autor.

- Nombre común: Eucalipto, ocal, ocalito, ucal, eucalipto común.
- Estado de la conservación: No evaluada.
- Distribución: Especie originaria de Australia, plantada en Suramérica desde Venezuela hasta Chile. En Colombia se cultiva en Antioquia y Cundinamarca en altitudes entre los 1500 y 2900 msnm.
- Características organolépticas:
 - Color: Albura de color amarillo rojizo (7.5YR 8/6), con transición gradual al duramen marrón rojizo claro (5YR 6/4).
 - Veteado: Líneas vasculares
 - Olor: No distintivo.
 - Lustre: Brillante.

- Características macroscópicas:
 - Anillos de crecimiento: Visibles a simple vista, definidos por un cambio en el diámetro de las fibras y el espesor de la pared.
 - Vasos: Poros visibles a simple vista, solitarios, rara vez múltiples de dos poros; porosidad difusa, orientación diagonal, sin inclusiones. Líneas vasculares visibles a simple vista.
 - Parénquima axial: Visible a simple vista, de tipo vasicentrico confluyente en cadenas de dos a cinco poros.
 - Parénquima radial: Visibles con aumento de 10X en el plano transversal. Estratificación ausente.
 - Otras estructuras: Bolsas de resinas.

- Propiedades físicas:
 - Densidad Básica: 0.55 g/cm³.
 - Contracción Radial: 6.7 %
 - Contracción Tangencial: 14.2 %
 - Contracción Volumétrica: 19.9 %
 - Relación CT/CR: 2.2

- Propiedades mecánicas:
 - Módulo de ruptura: 1068 kg/cm²
 - Módulo de elasticidad: 138 t/cm²
 - Compresión paralela 3: 470 kg/cm²
 - Compresión perpendicular: 80 kg/cm²
 - Dureza en los lados: 442 kg
 - Tenacidad: 3.45 kg m

Ocotea sp. Aubl. :**Figura 2-20.** *Ocotea sp. Aubl.*

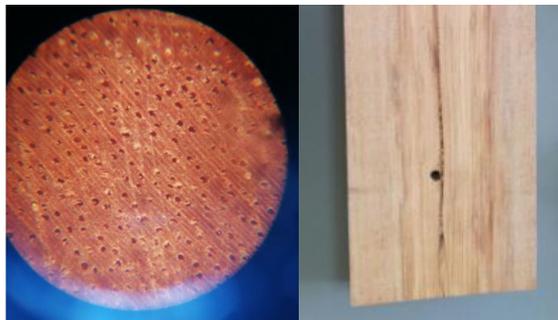
FUENTE: Elaborado por el autor.

- Nombre común: Laurel, jigua, jigua amarillo, jigua negro, aceituno.
- Estado de la conservación: No evaluada.
- Distribución: Guyana, Surinam, Guyana Francesa, Perú, Brasil, Venezuela y Colombia. En Colombia se encuentra en el departamento de Guainía en altitudes inferiores a los 300 msnm.
- Características organolépticas:
 - Color: Albura de color amarillo (10 YR 8/6), con transición gradual al duramen de color marrón amarillento claro (10YR 6/6)
 - Veteado: Líneas vasculares.
 - Olor: No distintivo.
 - Lustre: Mate.
- Características macroscópicas:
 - Anillos de crecimiento: No notorios o ausentes.
 - Vasos: Poros visibles a simple vista, solitarios y múltiples de dos a 5 poros; porosidad difusa, sin ninguna orientación; algunos ocluidos por tílides. Líneas vasculares visibles a simple vista.
 - Parénquima axial: Visibles con aumento de 10X, de tipo paratraqueal vasicéntrico delgado y aliforme.
 - Parénquima radial: Visible con aumento de 10X en el plano transversal. Estratificación ausente.
- Propiedades físicas:
 - Densidad Básica: 0.65 g/cm³.

- Contracción Radial: 2.45 %
- Contracción Tangencial: 3.87 %
- Contracción Volumétrica: 6.47 %
- Relación CT/CR: 1.58
- Propiedades mecánicas:
 - Módulo de ruptura: 1480 kg/cm²
 - Módulo de elasticidad: 72 t/cm²
 - Compresión paralela 769 kg/cm²
 - Compresión perpendicular: 154 kg/cm²
 - Dureza en los lados: 727 kg
 - Tenacidad: 1.08 kg m

Nectandra purpurea (Ruiz & pav.) Mez:

Figura 2-21. *Nectandra purpurea (Ruiz & pav.) Mez*



FUENTE: Elaborado por el autor.

- Nombre común: Laurel amarillo.
- Estado de la conservación: No evaluada.
- Distribución: De Nicaragua a Perú, En Colombia se encuentra en Antioquia, Caldas, Cauca, Chocó, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Magdalena, Norte de Santander y Quindío. En altitudes entre los 100 y 2400 msnm.
- Características organolépticas:
 - Color: Amarillo pálido (2.5Y 8/2), sin transición entre albura y duramen.
 - Veteado: Suave a no acentuado.
 - Olor: No distintivo.
 - Lustre: Brillante.

- Características macroscópicas:
 - Anillos de crecimiento: Indistintos o ausentes.
 - Vasos: Poros visibles con aumento de 10X, predominantemente multiples de 2 – 4 poros con algunos solitarios; porosidad difusa, sin orientación; con presencia de tílides y contenidos resinosos. Líneas vasculares visibles a simple vista.
 - Parénquima axial: No notorio con aumento de 20X.
 - Parénquima radial: Visible con aumento de 10X. Estratificación ausente.
- Propiedades físicas:
 - Densidad Básica: 0.429 g/cm³.
 - Contracción Radial: 2.8 %
 - Contracción Tangencial: 4.08 %
 - Contracción Volumétrica: 5.24 %
 - Relación CT/CR: 1.45
- Propiedades mecánicas:
 - Módulo de ruptura: 921 kg/cm²
 - Módulo de elasticidad: 124 t/cm²
 - Compresión paralela 3: 514 kg/cm²
 - Compresión perpendicular: 76 kg/cm²
 - Dureza en los lados: 337 kg
 - Tenacidad: 0.39 kg m

Lauraceae indeterminada:

Figura 2-22. *Lauraceae indeterminada*

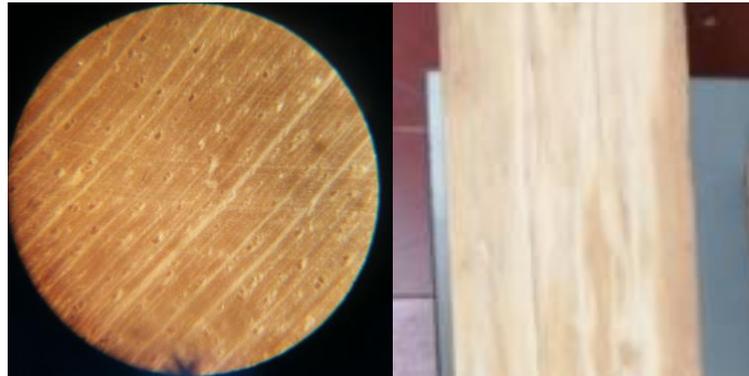


FUENTE: Elaborado por el autor.

Especie sin caracterizar.

Couma macocarpa Barb. Rodr:

Figura 2-23. *Couma macocarpa Barb. Rodr*



FUENTE: Elaborado por el autor.

- Nombre común: Juansoco, pendrade, perillo, lirio, surba, avichure.
- Estado de la conservación: No evaluada.
- Distribución: Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela, Perú y Brasil. En Colombia se encuentra en los departamentos de Amazonas, Antioquia, Bolívar, Caquetá, Choco, Guainía, Guaviare, Nariño, Putumayo, Santander, Valle, Vaupés y Vichada. En altitudes entre los 10 y 700 msnm.
- Características organolépticas:
 - Color: Albura de color blanco rosado (5YR 8/2) con transición gradual al duramen de color marrón claro (7.5YR 6/4).
 - Veteado: Líneas vasculares.
 - Olor: No distintivo.
 - Lustre: Brillante.
- Características macroscópicas:
 - Anillos de crecimiento: Indistintos o ausentes
 - Vasos: Visibles a simple vista, múltiples de 2 – 3 poros; difusa, orientación radial; sin inclusiones. Líneas vasculares visibles a simple vista.
 - Parénquima axial: Visible con aumento de 10X, de tipo paratraqueal difuso en agregados.
 - Parénquima radial: Visibles con aumento de 10X, estratificación ausente.

- Propiedades físicas:
 - Densidad Básica: 0.5 g/cm³.
 - Contracción Radial: 3.9 %
 - Contracción Tangencial: 6.4 %
 - Contracción Volumétrica: 10.4 %
 - Relación CT/CR: 1.6
- Propiedades mecánicas:
 - Módulo de ruptura: 1180 kg/cm²
 - Módulo de elasticidad: 95 t/cm²
 - Compresión paralela 3: 584 kg/cm²
 - Compresión perpendicular: 98 kg/cm²
 - Dureza en los lados: 461 kg
 - Tenacidad: 0.98 kg m.

Según las especies encontradas en estos elementos, algunas especies son consideradas en estado vulnerable y en peligro de extinción, ya que son madera que antes eran consideradas como especies ordinarias y fueron altamente explotadas hasta que se catalogaron y se evidenció el respectivo origen y riesgo al cual se encuentran sometidas, partiendo de esto nos da lugar a que al ser reutilizadas estas piezas, contribuimos a reducir en cierta medida la explotación de estas especies y al reconocimiento de las diversas problemáticas que están cursando actualmente.

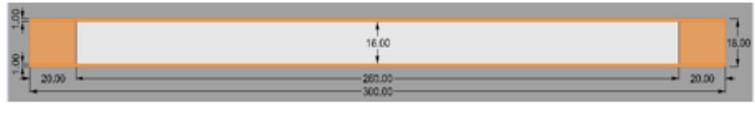
2.2 Determinación del número de vigas necesarias

De acuerdo a la revisión de la normativa tanto colombiana como Internacional, la que más aplica por tipo de material es la ISO 22156 (Bamboo – Structural Design), la cual establece que, para la determinación de las propiedades de un material, el mínimo número de vigas es 10. Debido a que esta tesis se basa en encontrar las propiedades de un elemento estructural, para poder establecer las cantidades necesarias para determinar las propiedades, se adoptó la recomendación realizada por la ISO 22156 y por tal razón se realizarán 12 prototipos con el fin de determinar una muestra que sea estadísticamente confiable, utilizando el Criterio de Chauvenet, controlando resultados atípicos que puedan llegar a ser descartables y finalmente obtener 10 valores.

2.3 Determinación de los tipos de ensamble y dimensiones de las vigas

Como resultado de la caracterización visual y macroscópica de los elementos seleccionados durante el acopio, se detectaron una serie de lesiones que, al retirarlas durante el proceso de maquinado, modificaron las distancias útiles de las maderas, causando que se realizaran diferentes de ensambles buscando la conformación más ideal para la elaboración de estos elementos estructurales, utilizando diversas maderas en el alma de las vigas, con unas medidas que oscilan entre los 0.65 m hasta 2.60 m, permitiendo configurar 6 tipos de ensambles que los encontraremos a continuación en donde cada uno cuenta con su propio formato de ensamble, dimensiones y tipos de Madera (Ver Anexo D).

Figura 2-24: Esquema del formato de ensamble, dimensiones y tipos de madera

		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
		Viga Tipo	S1A	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	Formato
Autor:		Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director : Arq. Jorge Enrique Lozano	
Fecha:		06-nov-17		Maestría en Construcción	
		Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá			
Ensamble I					
Lista de Nomenclatura		Dimensión			
Altura Pino	Hs (cm)	1			
Ancho Pino	Bs (cm)	7			
Largo Pino	Ls (cm)	300			
Altura Reciclada	Hr (cm)	16			
Ancho Reciclada	Br (cm)	3.5			
Largo Reciclada	Lr (cm)	300			
Altura Unión	Hu (cm)	16			
Ancho Unión	Bu (cm)	1.9			
Largo Unión	Lu (cm)	5			
Altura Total	Ht (cm)	18			
Ancho Total	Bt (cm)	3.5			
Largo Total	Lt (cm)	300			
					
					
Tipo Madera P1		Observaciones Generales:			
Comino					
Nombre Científico P1					
Ocotea					

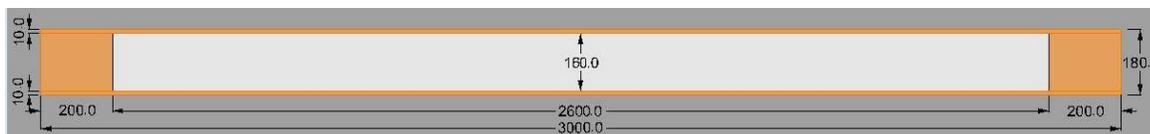
FUENTE: Elaborado por el autor.

2.3.1 Ensamble Tipo 1

El ensamble tipo 1 tiene como característica principal el uso de la menor cantidad de uniones en el alma del elemento ya que por diversas condiciones de maquinado (Por ejemplo, ataques de coleópteros, pudrición, arista faltante, etc.), las secciones con mayor longitud fueron de 2600mm y estas no cumplen con la dimensión establecida que se

preveo para realizar los ensayos, que corresponde a 3000mm de longitud total del elemento, con una luz entre apoyos de 2800mm, los 400mm faltantes, se componen de 2 elementos, cada uno de 35mm de espesor, 160mm de alto y 200 mm de longitud, ya sean ambos de Pino Radiata o 1 de Pino Radiata y el otro de madera de salvamento.

Figura 2-25: Esquema del ensamble tipo 1



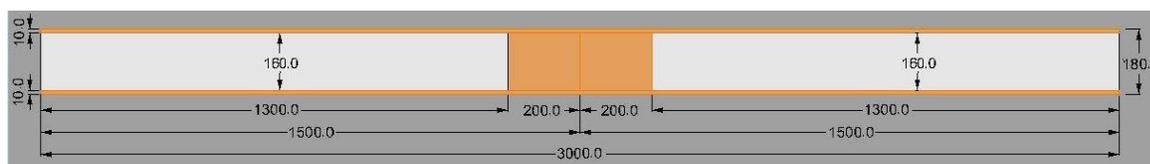
FUENTE: Elaborado por el autor.

Para este tipo de ensamble se establecieron 2 vigas denominadas **S1A Y S1B** con el fin de reconocer claramente cada uno de los ensambles y así poder establecer que ensamble es el más favorable para este elemento estructural.

2.3.2 Ensamble Tipo 2

El ensamble tipo 2 tiene como característica principal la división en el centro del elemento contando así con 2 piezas de madera de salvamento, cada una de 35mm de espesor, 160mm de altura y 1300mm de longitud, adicionalmente se complementan con 2 elementos, cada uno de 35mm de espesor, 160mm de alto y 200 mm de longitud, ya sean ambos de Pino Radiata o 1 de Pino Radiata y el otro de madera de salvamento, completando los 3000mm de longitud total del elemento, con una luz entre apoyos de 2800mm para poder realizar el ensayo en el laboratorio.

Figura 2-26: Esquema del ensamble tipo 2



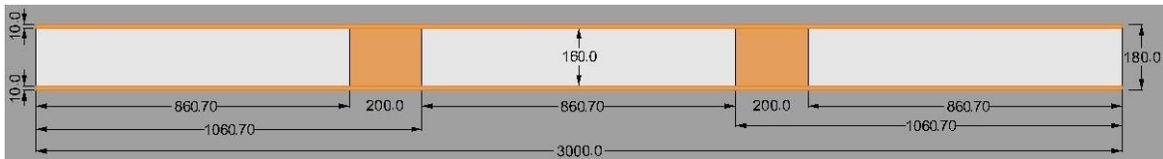
FUENTE: Elaborado por el autor.

Para este tipo de ensamble se establecieron 2 vigas denominadas **S2A Y S2B** con el fin de reconocer claramente cada uno de los ensambles y así poder establecer que ensamble es el más favorable para este elemento estructural.

2.3.3 Ensamble Tipo 3

El ensamble tipo 3 tiene como característica principal la división aproximada en los tercios del elemento contando así con 3 piezas de madera de salvamento, cada una de 35mm de espesor, 160mm de altura y 867mm de longitud, adicionalmente se complementan con 2 elementos, cada uno de 35mm de espesor, 160mm de alto y 200 mm de longitud, ya sean ambos de Pino Radiata o 1 de Pino Radiata y el otro de madera de salvamento, completando los 3000mm de longitud total del elemento, con una luz entre apoyos de 2800mm para poder realizar el ensayo en el laboratorio.

Figura 2-27: Esquema del ensamble tipo 3

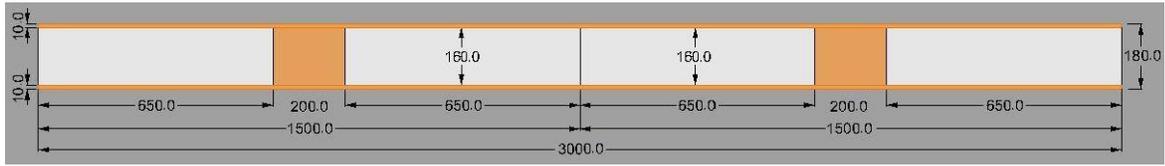


FUENTE: Elaborado por el autor.

Para este tipo de ensamble se establecieron 2 vigas denominadas **S3A Y S3B** con el fin de reconocer claramente cada uno de los ensambles y así poder establecer que ensamble es el más favorable para este elemento estructural.

2.3.4 Ensamble Tipo 4

El ensamble tipo 4 tiene como característica principal la división aproximada en los cuartos del elemento contando así con 4 piezas de madera de salvamento, cada una de 35mm de espesor, 160mm de altura y 650mm de longitud, adicionalmente se complementan con 2 elementos, cada uno de 35mm de espesor, 160mm de alto y 200 mm de longitud, ya sean ambos de Pino Radiata o 1 de Pino Radiata y el otro de madera de salvamento, completando los 3000mm de longitud total del elemento, con una luz entre apoyos de 2800mm para poder realizar el ensayo en el laboratorio.

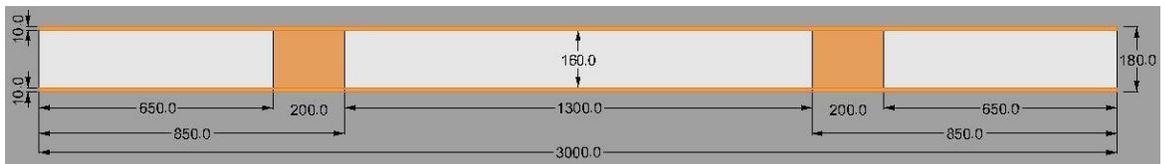
Figura 2-28: Esquema del ensamble tipo 4

FUENTE: Elaborado por el autor.

Para este tipo de ensamble se establecieron 2 vigas denominadas **S4A Y S4B** con el fin de reconocer claramente cada uno de los ensambles y así poder establecer que ensamble es el más favorable para este elemento estructural.

2.3.5 Ensamble Tipo 5

El ensamble tipo 5 tiene como característica principal la división aproximada en el cuarto inicial y final del elemento contando así con 2 piezas de madera de salvamento, cada una de 35mm de espesor, 160mm de altura y 650mm de longitud; una pieza central de madera de salvamento de 35mm de espesor, 160mm de altura y 1300mm de longitud y adicionalmente se complementan con 2 elementos en los cuartos, cada uno de 35mm de espesor, 160mm de alto y 200 mm de longitud, ya sean ambos de Pino Radiata o 1 de Pino Radiata y el otro de madera de salvamento, completando los 3000mm de longitud total del elemento, con una luz entre apoyos de 2800mm para poder realizar el ensayo en el laboratorio.

Figura 2-29: Esquema del ensamble tipo 5

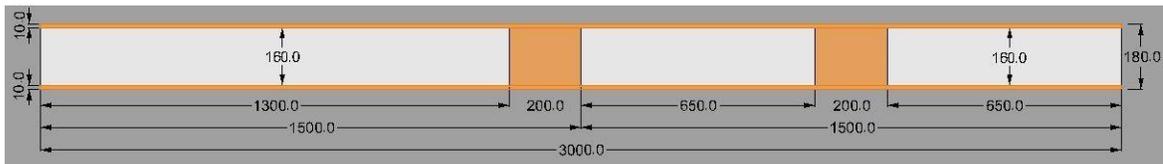
FUENTE: Elaborado por el autor.

Para este tipo de ensamble se establecieron 2 vigas denominadas **S5A Y S5B** con el fin de reconocer claramente cada uno de los ensambles y así poder establecer que ensamble es el más favorable para este elemento estructural.

2.3.6 Ensamble Tipo 6

El ensamble tipo 6 tiene como característica principal la división en el centro del elemento contando así con una pieza de madera de salvamento, de 35mm de espesor, 160mm de altura y 1300mm de longitud; dos piezas de madera de salvamento de 35mm de espesor, 160mm de altura y 650mm de longitud y adicionalmente se complementan con 2 elementos entre las piezas, cada uno de 35mm de espesor, 160mm de alto y 200 mm de longitud, ya sean ambos de Pino Radiata o 1 de Pino Radiata y el otro de madera de salvamento, completando los 3000mm de longitud total del elemento, con una luz entre apoyos de 2800mm para poder realizar el ensayo en el laboratorio.

Figura 2-30: Esquema del ensamble tipo 6



FUENTE: Elaborado por el autor.

Para este tipo de ensamble se establecieron 2 vigas denominadas **S6A Y S6B** con el fin de reconocer claramente cada uno de los ensambles y así poder establecer que ensamble es el más favorable para este elemento estructural.

2.4 Fabricación de las piezas para el ensamble de las vigas

2.4.1 Proceso de Fabricación de las piezas de madera reciclada

Para la fabricación de las piezas para ensamblar las vigas, el proceso se inició con la extracción, de manera manual con un martillo, los clavos, puntillas, accesorios metálicos y demás elementos que estaban embebidos en las piezas, ya que al ser pasadas por el cepillo o por la planadora, estos elementos pueden dañar y desafilarse las cuchillas de los elementos, afectando altamente la productividad y los tiempos de preparación del material.

Figura 2-31: Retiro de piezas metálicas faltantes

Después de realizar el proceso de extracción, continuamos con el proceso de retiro de las diferentes afectaciones por los agentes medio ambientales que alcanzaron a afectar los elementos, con estos cortes también se logró definir los diferentes ensambles y las dimensiones de las piezas a utilizar, así mismo se facilitó el transporte y ubicación para el alistamiento de las piezas.

Figura 2-32: Extracción de escamaduras, rajaduras y ataque de coleópteros

Figura 2-33: Piezas de madera reciclable listas para el maquinado



Con las piezas listas para el proceso de maquinado, se procede a pasar las maderas por la Planeadora, la cual nos permite dejar 2 caras de la pieza a 90° grados, esta máquina utiliza una cuchilla en una superficie plana en la cual se pasan las piezas las veces que sean necesarias aplicando un poco de presión, para que en cada pasada la madera pierda la superficie afectada que se generó durante el tiempo que estuvo expuesta a las diferentes afecciones y quede la cara en contacto completo para poder ser utilizada en el proceso de planear la cara lateral.

Figura 2-34: Maquinado de las piezas en la planeadora



Después de realizar el proceso de planeado de 2 caras, procedemos a pasar la cara faltante por el cepillo eléctrico, el cual funciona con 3 cuchillas ubicadas en un rodillo giratorio el cual a medida que gira, aplicando presión sobre una superficie plana, la cual

es por donde se desplaza la cara alistada en la planeadora y así controlamos que las dos caras van a quedar paralelas y planas, adicionalmente va desplazando la pieza y va retirando la cantidad indicada de superficie, alisando las diversas deformaciones superficiales de la pieza; este proceso se repite hasta alcanzar los 35mm de espesor que se necesita para conformar el alma.

Figura 2-35: Maquinado de las piezas en el cepillo eléctrico



Luego de cepillar las caras más anchas de la madera, se procede a retirar por medio de la sierra de banco plano, la cara faltante para terminar de definir las 4 caras alisadas de la pieza para continuar con el ensamble de las vigas; este procedimiento se realiza para dejar los 160mm de ancho que se requieren para el alma del elemento, este procedimiento se realiza dejando una holgura de 2 a 4mm por lo que el corte con la sierra no queda igual entre la punta inicial y la punta final, esto provoca que las piezas sean pasadas una última vez por la planeadora para poder verificar que la viga quede con las dimensiones exactas en sus 4 caras.

Figura 2-36: Maquinado de las piezas en la sierra de banco plano



Luego de esto, las piezas terminadas, son transportadas de regreso a la oficina del Grupo de Investigación Madera y Guadua para proceder con el ensamble definitivo de las vigas, la aplicación del adhesivo y el presando de las mismas.

Figura 2-37: Acopio de las piezas ya maquinadas para el ensamble



2.4.2 Proceso de Fabricación de las piezas de Pino Radiata.

Para el proceso de fabricación de las piezas de pino Radiata al venir cepillado, dimensionado y adquirido lo más eficiente posible para la extracción de los elementos, el proceso inició con el corte de los bloques, de 35mm de espesor, 160mm de alto y 200 mm de longitud, pasando primero por la sierra de banco plano la cual nos dejó la tabla completa a 162mm de ancho, 35mm de espesor y 3925mm de longitud, para luego pasarla por la planeadora y realizar el cepillado de la cara que fue cortada, corrigiendo

las posibles desviaciones y los 2mm faltantes para que concuerden con las piezas de la madera de salvamento.

Figura 2-38: Maquinado de las piezas de Pino Radiata



Posterior a los primeros procesos de maquinado, se procede a realizar el corte con la sierra Tronzadora, marca DeWalt Ref. DWS 780, de la madera completa de 160mm de ancho, 35mm de espesor y 3925mm de longitud, en secciones de 160mm de ancho, 35mm de espesor y 200mm de espesor, de esta tabla salen 19 piezas para el ensamble de las vigas, para completar las 36 piezas necesarias, el proceso se repitió una vez más y esto permitió tener algunas piezas de cambio por si se llegaron a necesitar.

Figura 2-39: Corte de las piezas de 200mm de longitud



Adicionalmente, se realizó el corte con la sierra de banco plano, las láminas de Pino Radiata (*Pinus Radiata*) de dimensiones 19mm de espesor, 70mm de ancho y 3200mm de longitud, que se calcularon específicamente para poder evaluar la resistencia entre las vigas y trabajos investigativos paralelos de esta línea investigativa, ya que hacen parte importante de las vigas debido a que estas se ubicaron en el patín superior y el patín inferior que es la principal diferencia entre las investigaciones.

Figura 2-40: Maquinado de las láminas de Pino Radiata de 70mm de ancho



Después de este primer paso, las láminas de pino resultantes, fueron sometidas a un cepillado por ambas caras para poder conseguir el espesor que se necesita para el desarrollo de la investigación, el cual es de 10mm de espesor, 70mm de ancho y 3000mm de longitud, durante este proceso se retiraron más de 9mm de material entre las caras, buscando retirar las imperfecciones y posibles afectaciones, por ejemplo rastros de médula, fibras rotas, abolladuras, irregularidades en las caras, etc..., con el fin de dejar el material lo más plano posible para que a la hora de la aplicación del adhesivo la superficie pueda estar en máximo contacto con los elementos y así asegurar un buen encolado.

Figura 2-41: Maquinado de las piezas de Pino Radiata en el cepillo

Finalmente, para la elaboración de los elementos de unión, se utilizaron 2 tablas de Pino Radiata de 19mm de espesor, 160mm de ancho y 3200mm de longitud que fueron seccionadas, con la sierra Tronzadora, marca DeWalt Ref. DWS 780, en piezas de 19mm de espesor, 160mm de ancho y 50mm de longitud para que sean los elementos de unión entre las piezas sueltas que solo serán ancladas con grapas industriales.

Figura 2-42: Corte de los elementos de unión para el armado de las vigas

Todas las piezas que se realizaron en Pino Radiata (*Pinus Radiata*) fueron dispuestas en la oficina del Grupo de Investigación Madera y Guadua para realizar un control exhaustivo de las condiciones para conservar los elementos antes del armado de las vigas, para así poder asegurar las mejores condiciones previas al ensamble de las mismas.

Figura 2-43: Acopio de las piezas de pino radiata para el ensamble



2.5 Ensamble de las vigas

Para realizar el ensamble de las vigas según el tipo de disposición de las piezas del elemento se inició por la nomenclatura de las piezas según diversas condiciones; el tipo de madera, el tipo de ensamble y las zonas donde se va a solicitar ante carga en las vigas.

Figura 2-44: Numeración de las piezas para realizar el ensamble



Además, se hizo la organización correspondiente de las piezas de cada una de las vigas para así poder tener organizados los ensambles con el fin de que las únicas tareas por realizar fuese anclar los elementos de unión y aplicar el adhesivo, para así poder tener los ejemplares listos para el prensado y posterior curado.

Figura 2-45: Conformación de las vigas previo al ensamble



2.5.1 Ubicación de los elementos de unión

Para iniciar este proceso fue necesario corregir las caras de unión de las maderas que componían el alma, ya que es necesario que se encuentren lo menos separadas para poder tener un área en donde se pudieran anclar las grapas, las cuales son las que nos

ayudaron a mantener las vigas estables para poder iniciar el proceso de encolado y prensado.

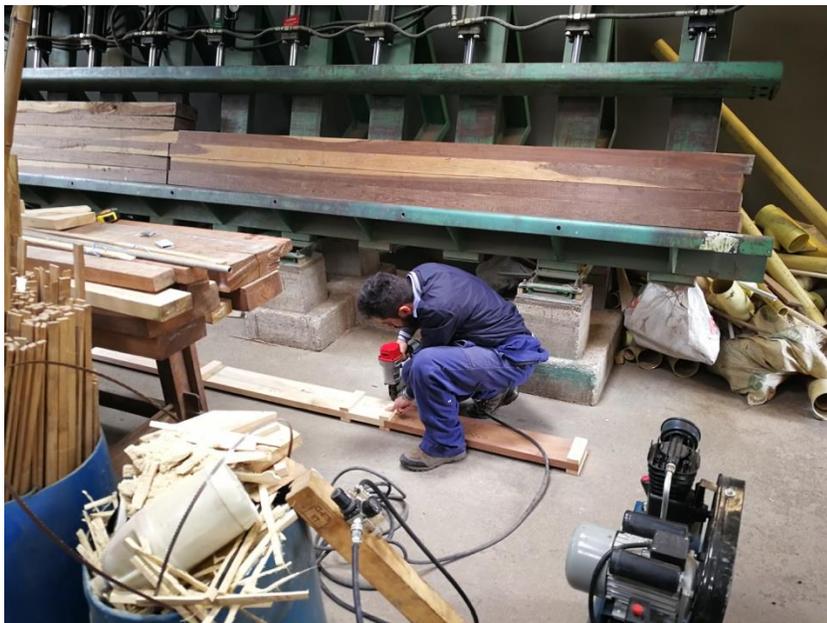
Figura 2-46: Corrección de las aristas de las piezas



Después de la verificación realizada en las aristas de las piezas que componen el alma, se procedió a la ubicación definitiva de las piezas para realizar el anclaje de los elementos de unión por medio del uso de unas grapas industriales, de 10mm de ancho por 50mm de longitud, diseñadas para ser ancladas con una pistola neumática, ya que se plantea su uso solo para realizar el ensamble de manera eficiente y no para que transmitan cargas por esto mismo no se encuentran fijadas al alma con adhesivo, pero por el contrario en el caso del contacto con los patines, quedan adheridos a estos, ya que al realizar el prensado de las vigas se dificulta retirar estos elementos por impregnarse del adhesivo que sobra de la capa de contacto principal entre el alma y el patín y además nos permiten verificar el correcto armado de las vigas.

Figura 2-47: Proceso de ensamble de los elementos estructurales

El proceso de instalación de los elementos de unión es realizado por ambas caras de la viga buscando una rigidez óptima para el traslado durante el proceso de encolado y demás movimientos a la que la viga se vea solicitada, permitiendo así, controlar que las vigas no tengas desplazamientos entre sus piezas o se cambien las piezas entre vigas.

Figura 2-48: Proceso de anclado neumático de los elementos de unión

Finalmente, antes de realizar la aplicación del adhesivo, se realiza una inspección de la altura de los elementos de unión para confirmar que no van a afectar la superficie de adhesión entre el alma y los patines de la viga, de encontrarse alguna altura desfasada, con respecto al alma, se procedió a realizar un desbaste de la superficie con una lijadora de banda, Marca Makita, hasta encontrar el punto exacto de altura para evitar cualquier afectación de la línea de cola y del contacto de las superficies

Figura 2-49: Afinado de las superficies previas al encolado



2.5.2 Aplicación del adhesivo

Con las piezas del alma ya fijadas y lijadas las zonas de contacto, procedemos a la preparación de las vigas para la aplicación, como primer paso es retirar el polvo superficial de la cara donde se aplicará el adhesivo, con esto verificamos que no va mezclarse con partículas que contaminen la mezcla dificultando su fraguado y posterior curado.

En paralelo a este proceso se realizó la preparación del adhesivo en donde la proporción utilizada entre el MUF 1242 y el HARDENER 2542 correspondía a 100:15 partes por peso de cada producto, como lo indica su correspondiente ficha técnica, adicionalmente esta fue la proporción que utilizó en un trabajo de investigación acerca de laminados de guadua (Takeuchi, 2013). Después de realizar los correspondientes pesajes, se envasaron las dos sustancias en una botella dispensadora de salsas, el cual podía contener hasta 400g de mezcla permitiendo una autonomía de aproximadamente 3 vigas por preparación.

Figura 2-50: Proceso de encolado de los elementos previo al prensado



El proceso de encolado se realizó manualmente para garantizar la aplicación uniforme a lo largo del elemento, adicionalmente se revisó la ficha de seguridad de los 2 productos para conocer que procedimiento se debe realizar si hay algún riesgo durante la exposición prolongada a la mezcla, la cual no exigía ningún elemento de seguridad industrial, pero debido a que la sustancia se estaba utilizando en un espacio cerrado con poca ventilación se utilizaron mascararas con filtro para reducir la exposición a los formaldehidos que expide la mezcla.

Figura 2-51: Detalle de las guías para la correcta ubicación de los patines



Para garantizar el correcto armado y ubicación de los patines de Pino Radiata (*Pinus Radiata*), se ubicaron piezas de madera sobrantes, de 50mm de ancho, por 20mm de

espesor y 60mm de alto, ancladas a los elementos de unión por medio de una puntilla por cada elemento, la cual no genera ninguna afectación mecánica importante en los elementos, para controlar cualquier desplazamiento mientras se ubicaban los elementos para iniciar el prensado, que al finalizar el tiempo, son retirados para evitar que se adhieran a la viga durante el curado.

2.5.3 Prensado de los elementos

Para Iniciar el proceso de Prensado se realizó la calibración correspondiente del sistema y de la máquina para asegurar que la presión de la prensa hidráulica se mantuviera constante, y para estas vigas se realizó con una presión continua de 2.5kg/cm^2 , por sesión se ubicaron simultáneamente 4 vigas, pasada una hora se revisó la presión y si hubo alguna pérdida significativa se realizó el reapriete, además se retiró el exceso de adhesivo, esto se verificó durante las 7 primeras horas; La hora de inicio fue a la 1 pm y la hora final fue a las 10 am del día siguiente, para así tener 21 horas de prensado.

Figura 2-52: Proceso de prensado y ubicación típica de las piezas en la máquina



Luego del tiempo de prensado, las vigas se dejaron 6 días en el proceso de curado de la línea de cola en un lugar donde no pudieran ser afectadas por cualquier movimiento y humedad que afectara la resistencia del adhesivo.

Figura 2-53: Curado de las vigas en el laboratorio de ensayos mecánicos



2.5.4 Clasificación visual de imperfecciones y defectos

Después de los 6 días de curado de la línea de cola, se procedió a realizar la clasificación visual de imperfecciones y defectos de cada una de las 12 vigas realizadas, para comprobar si hubo algún desplazamiento o aplastamiento en las láminas de pino con respecto al alma, adicionalmente se verificó nuevamente cada una de las piezas instaladas en el alma para detallar, antes del ensayo, todas las imperfecciones y defectos que no se retiraron durante el maquinado, en caso de que durante el ensayo, tuviera alguna afectación por alguno de esos; además de eso, nos sirve para conocer hasta el último momento antes del ensayo; la trazabilidad de la viga, de ser necesario, si se encontraba algún tipo de afectación en las vigas antes de ensayarlas se registrarían todos los datos en un formato de clasificación visual de imperfecciones y defectos (**Ver anexo E**).

Figura 2-54: Esquema del formato de clasificación visual de imperfecciones y defectos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA REFORZADAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
GIMG		Viga Tipo	1A	Clasificación Visual de Imperfecciones y Defectos	Formato
Autor:		Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director:	Arq. Jorge Enrique Lozano
Fecha:		Maestría en Construcción		Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
CARA I					
Lista Nomenclatura					
Duramen	D				
Escamadura	E				
Grieta	G				
Medula	M				
Nudo	N				
Nudo Sano	NS				
Nudo Hueco	NH				
N. Arrastrado	NA				
Perforación	P				
Perf. Sellado	PS				
Grano inclinado	GI				
Putridión	PU				
Rajaduras	R				
Manchas	M				
Artes faltante	AF				
Imágenes Adicionales					
Tipo Madera P1					
Nombre Científico P1					
Observaciones Generales:					
Observaciones Pieza 1 (P1):					

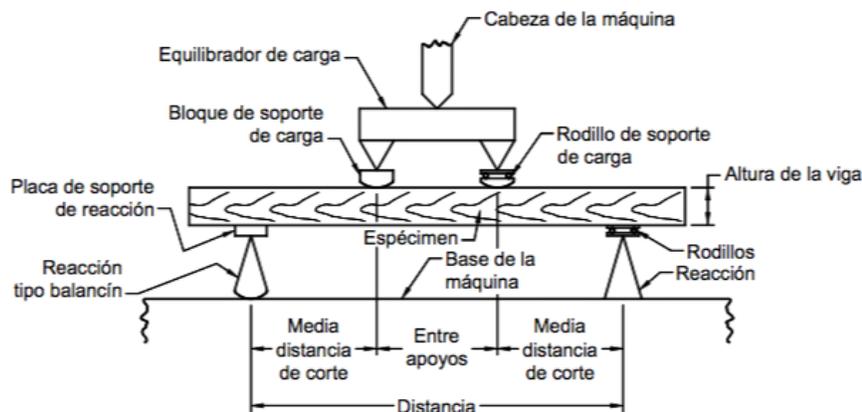
FUENTE: Elaborado por el autor.

Figura 2-55: Producto terminado y listo para ser ensayado



2.6 Determinación del modelo de ensayo

Para realizar el estudio pertinente del comportamiento a flexión de estas vigas de sección y materiales compuestos se decidió realizar el ensayo ASTM D198 equivalente a la NTC 5279 para conocer y analizar los resultados en cuanto a la resistencia, MOE, MOR, $cortante_{max}$, $cortante_{ip}$, $momento_{max}$, $momento_{ip}$, inercia, ductilidad y el esfuerzo de la fibra en el límite proporcional (tracción y compresión).

Figura 2-56: Esquema del ensayo de la prueba a flexión NTC 5279**Figura 1. Método de flexión**

FUENTE: (NTC 5279, 2004)

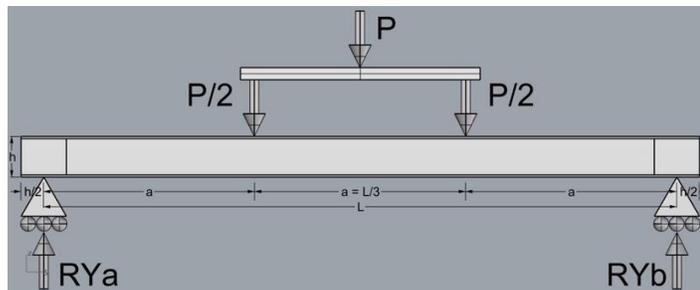
Según la NTC 5279 el ensayo consiste en:

“El elemento estructural, usualmente una viga recta o ligeramente combada, de sección transversal rectangular, se somete a un momento de doblado mientras se sostiene cerca de sus extremos en lugares llamados reacciones, y se aplican cargas transversales impuestas simétricamente, entre estas reacciones. La viga se dobla a una velocidad establecida y se hacen observaciones coordinadas de cargas y deflexiones hasta que ocurra la ruptura”(ICONTEC, 2004)

3.Ensayos y resultados

Para el montaje de ensayo de las vigas con carga perpendicular al plano, se utilizó la máquina universal de ensayos Hung Ta Ref. HT 2402 ubicado en el laboratorio de madera y guadua de la facultad de artes, en el cual la carga fue aplicada en los tercios medios de la luz, con piezas de madera en forma semi circular, que fueron ubicados en el montaje de la prueba a flexión de la guadua, el cual reparte uniformemente la carga en los 2 puntos de aplicación; para los apoyos se utilizaron piezas de madera en forma semi circular que reposaban sobre el montaje de apoyos del ensayo a flexión de la guadua que están apoyados en el suelo.

Figura 3-1: Ejemplo del diagrama del montaje realizado para el ensayo



FUENTE: Elaborado por el autor. Referencia NTC 5279

Figura 3-2: Ejemplo del montaje realizado para ensayo



Para conocer la lectura de la carga ejercida durante todo el momento del ensayo, fue tomada del computador del equipo utilizado, el cual usa un programa que nos arroja la información tanto en valores como en gráficas; En cuanto a las deformaciones, la maquina nos arroja unos desplazamientos en mm que deben ser corregidos por medio de la toma de los valores en el centro de la luz con un comparador de caratula, marca Mitutoyo, con precisión de 0.1mm.

Figura 3-3: Ejemplo del montaje con el comparador de carátula para calcular las deformaciones



Adicionalmente para poder generar los diversos análisis de cada una de las vigas que se ensayaron en el montaje, la información recopilada, calculada de manera indirecta y graficada, fue registrada en un formato correspondiente al ensayo de flexión según la NTC 5279 en donde apreciamos el esquema del ensayo, fotografías, fórmulas utilizadas, valores de carga, deformaciones, información técnica del adhesivo, gráficas, etc. **(Ver anexo F)**

Figura 3-4: Esquema del formato utilizado para registrar los datos del ensayo de flexión NTC 5279

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL					
Viga Tipo	S1A	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279		Formato	FEF VT-1A
Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano	
Fecha:	09-oct-17		Maestría en Construcción		Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO S1A					
ESQUEMA DEL ENSAYO			FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS
					$Sf = \frac{m_{1p} * c}{\sum I_{ST}}$ $SR = \frac{m * c}{\sum I_{cr}}$ $MOE = \frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	
	kgf	N	cm	mm	
1	0	0.00	0	0	Ancho de la probeta (cm)
2	24.1	236.34	0.05	0.5	Altura de la probeta (cm)
3	50.4	494.25	0.1	1	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)
4	80.2	786.49	0.15	1.5	Longitud de la probeta (cm)
5	107.3	1052.25	0.2	2	b
6	135.12	1325.07	0.25	2.5	h
7	164.8	1616.13	0.3	3	a
8	193.4	1896.60	0.35	3.5	L
9	221.8	2175.11	0.4	4	TIPO DE ADHESIVO
10	251.4	2465.38	0.45	4.5	MUF 1242
11	279.2	2738.01	0.5	5	PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)
12	308.9	3029.26	0.55	5.5	10
13	337	3304.83	0.6	6	TIEMPO DE PRENSADO
14	365.8	3587.26	0.65	6.5	18 HORAS
15	393.8	3861.84	0.7	7	TIEMPO DE FRAGUADO
16	420.8	4126.62	0.75	7.5	6 DIAS
17	450.9	4421.80	0.8	8	
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN					
MODULO DE RUPTURA					
Sr (kgf/cm²)		323.56			
Sr (N/mm²)		31.73			
MODULO ELASTICO APARENTE					
Ef (kgf/cm²)		319321.65			
Ef (N/mm²)		31314.64			
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)					
Sf (N/mm²)		29.87			
Contenido de Humedad S1A					
Tapa 1	Pieza 1	Tapa 2	Patín Superior	Patín Inferior	
13.6%	15%	14.5%	13.5%	14%	

FUENTE: Elaborado por el autor.

3.1 Equipos e instrumentos

Para el correcto desarrollo de los diversos ensayos, toma de deformaciones y toma de los contenidos de humedad en cada una de las piezas que componen los elementos, fueron utilizadas las siguientes máquinas y herramientas que están a disposición en el laboratorio de madera y guadua de la facultad de artes.

3.1.1 Hung Ta Instrument - Ref. HT 2402

Este equipo es una máquina universal de ensayo con capacidad de ejercer 20 toneladas que puede ser ejercida tanto a compresión, como a tracción de los elementos; en este caso, la máquina fue utilizada para ejercer la carga a compresión que permitió generar las deflexiones y las reacciones a flexión que se solicitan en el ensayo a flexión NTC 5279.

Figura 3-5: Máquina universal con el montaje para realizar el ensayo



3.1.2 Hidrómetro Electrónico GANN – Hydromette HT 65

Este hidrómetro electrónico fue utilizado para medir el contenido de humedad (CH) de cada una de las piezas antes de pasar por el ensayo, este equipo es un medidor electrónico de humedad que está basado en el principio de medición de la resistencia eléctrica, ya que para conocer el valor del contenido de humedad higroscópico, debe ser clavado en la pieza, allí se induce una corriente que pasa entre los dos electrodos en la cual el equipo toma la resistencia interna respecto al agua que contiene la pieza y realiza el cálculo que se refleja en el LCD del equipo.

Figura 3-6: Hidrómetro electrónico HT G5 para medir el % de contenido de humedad

3.1.3 Comparador de carátula y soporte universal Mitutoyo

Para conocer los valores reales de la deflexión del elemento durante el ensayo, se utilizaron estos 2 instrumentos, ya que los valores de deformación que arroja la máquina universal al iniciar el ensayo, contempla el movimiento del cabezal de carga, la ubicación del elementos en los apoyos y demás movimientos que no deforman la viga creando un valor que afecta el análisis de los resultados y para evitar esto, se utiliza un comparador de carátula, que registra la deformación en la cara inferior ya que está ubicado en contacto con el elemento, el cual se ubica en un soporte universal que se puede fijar en el plato de la máquina universal gracias a un magneto que posee en su base, permitiendo así, controlar el movimiento del comparador y realizar la toma de los datos de manera exacta

Figura 3-7: Montaje del comparador de carátula y el soporte universal

Este montaje se usó durante los primeros 8mm de deformación del elemento, ya que estos datos son usados para corregir los datos de deformación obtenidos con la máquina universal y además permitió establecer la carga que resiste la viga en la máxima deformación admitida por la Norma Sismo Resistente, para los elementos estructurales.

3.2 Actividades previas a los ensayos

Antes de iniciar cada uno de los ensayos cada una de las vigas debió ser sometida a la toma del contenido de humedad, cálculo de medidas, marcación correspondiente de apoyos de las reacciones y el correcto montaje según el diagrama de la NTC 5279

Figura 3-8: Montaje del ensayo según la norma NTC 5279

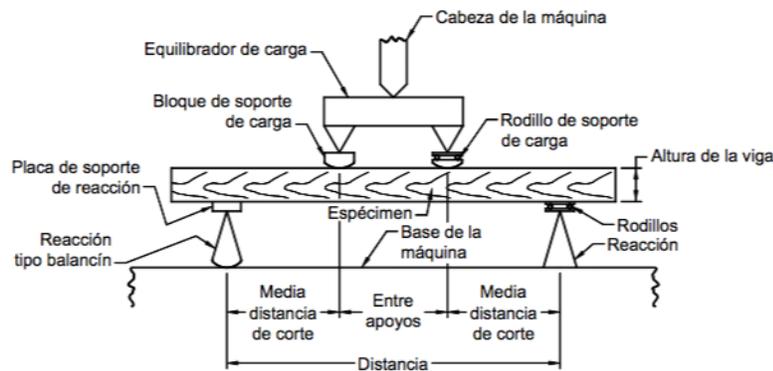


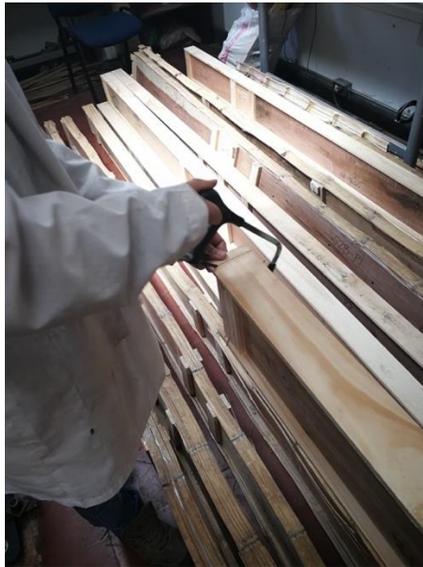
Figura 1. Método de flexión

FUENTE: (NTC 5279, 2004)

3.2.1 Preparación de la viga

A cada uno de los elementos se le realiza una última inspección visual, la cual permite examinar que cambios tuvieron las vigas durante el proceso de curado; adicionalmente se realiza la toma de medidas, corte de excedentes en los patines y la marcación de los lugares donde se apoyará la viga y la marcación de los tercios donde se efectuarán la aplicación de las cargas.

Figura 3-9: Alistamiento de las vigas para el ensayo



3.2.2 Medición del Contenido de Humedad previa al ensayo

Como paso siguiente previo al ensayo, se realizó la toma del contenido de humedad de cada pieza de las que están compuestos los elementos, este proceso se realizó con el Hidrómetro electrónico GANN HT-65 (ver punto 3.1.2), como parte principal de la realización del ensayo ya que se debe registrar en el formato correspondiente del ensayo con el fin de llevar la trazabilidad de cada una de las vigas hasta el momento del ensayo.

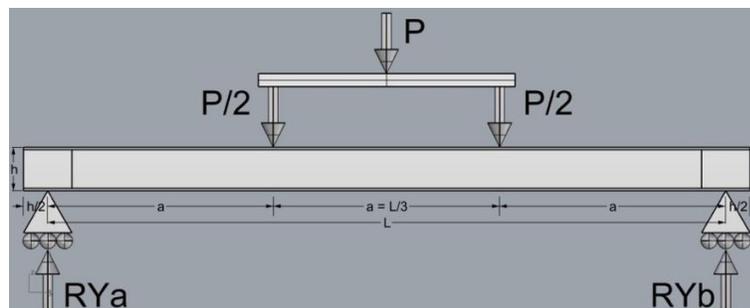
Figura 3-10: Medición del contenido de humedad con el hidrómetro HT-65 en la viga S3A



3.2.3 Montaje de la prueba

Como paso final previo a la puesta en marcha del ensayo, se realiza el montaje de la pieza en los apoyos entre la máquina universal de ensayos, los cuales ya están fijos en la posición que se necesita para que la luz corresponda a los 2820mm ya que los puntos de apoyo de la viga según la literatura corresponden a $h/2$ tomados desde el final de la viga hacia el centro, en este caso corresponden a 90mm en cada extremo y están marcados en el elemento.

Figura 3-11: Gráfico del montaje para realizar el ensayo



Los puntos donde serán aplicadas las cargas corresponden entre la luz de los apoyos dividido por 3 ya que los puntos de aplicación se encuentran en el tercio de la misma para que funcionen como cargas repartidas, estos también están marcados en la viga y en el montaje se encuentran ubicadas las piezas de madera que están fijadas.

Figura 3-12: Fotografía del montaje durante uno de los ensayos.



3.3 Ensayos y resultados

Como parte fundamental del trabajo investigativo es conocer las propiedades mecánicas de estos elementos compuestos ya que pueden entrar a ser parte de los sistemas estructurales que puedan ser utilizados en las edificaciones. Por esto mismo, se realizó el ensayo normalizado a flexión ASTM D198 – NTC 5279, el cual nos permite saber los límites elásticos, plásticos y punto de ruptura para evaluar el comportamiento de su falla, si tienen alguna característica adicional durante la puesta a funcionamiento bajo diferentes solicitaciones y si el adhesivo MUF 1242 proporciona algún tipo de resistencia adicional al hacer parte de estos elementos.

También es importante señalar que uno de los objetivos de esta investigación es poder llegar a obtener elementos que puedan servir como elementos principales de los sistemas en madera y alcanzar las resistencias que tienen las maderas estructurales del grupo ES1 de la NSR-10, encontrar un proceso industrial de fabricación a nivel de las MLPE realizadas en el país y poder compararse para entrar a competir en el mercado.

Los siguientes ensayos fueron realizados hasta el punto de ruptura del elemento y allí se documentaron los tipos de falla y demás afectaciones que sufrieron los elementos durante el ensayo, en el caso de esta investigación, no se varió la velocidad del ensayo ya que con esto podemos tener una forma más simple de comparar y saber qué tipo de ensamble funciona mejor, todo esto será analizado en un capítulo más adelante.

3.3.1 Viga S1A

Tiempo de la prueba: 16 Minutos con 40 segundos

Velocidad del ensayo: 1.5mm/minuto.

Luz entre apoyos: 2820mm

Tercio de la Luz: 940mm

Figura 3-13: Montaje gráfico de la viga S1A

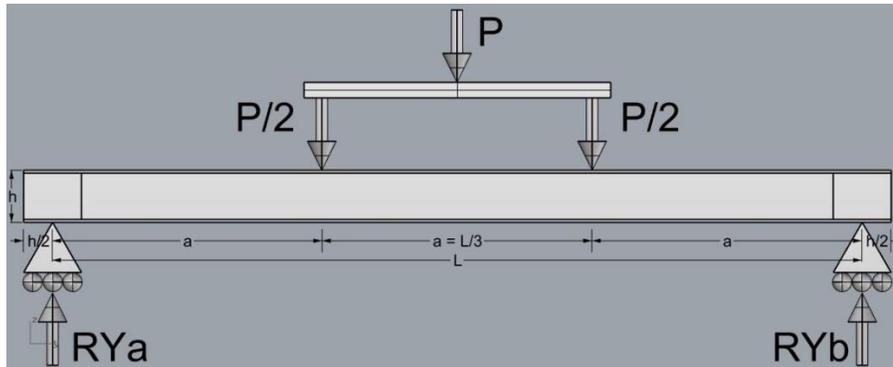


Figura 3-14: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S1A



Tabla 3-1: Contenido de humedad viga S1A previo al ensayo

Contenido de Humedad S1A				
Tapa 1	Pieza 1	Tapa 2	Patín Superior	Patín Inferior
13.6%	15%	14.5%	13.5 %	14%

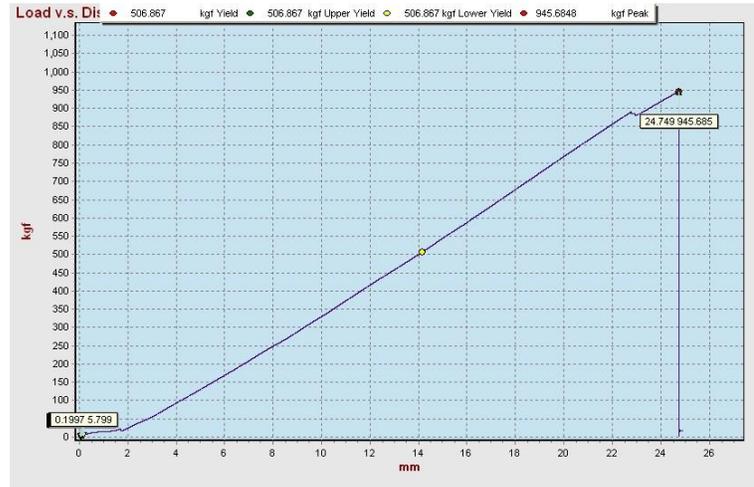
FUENTE: Elaborado por el autor.

3.3.1.1 Resultado Viga S1A

Carga Máxima: 945.68 kg

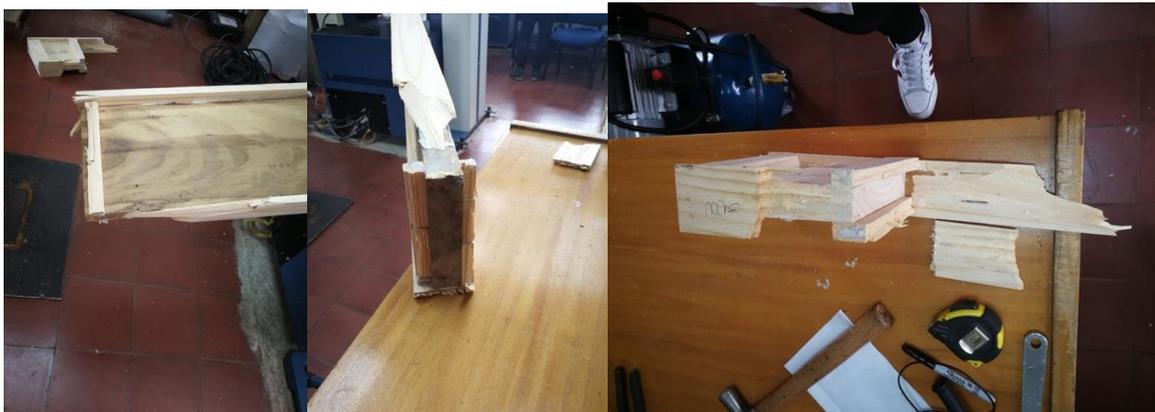
Desplazamiento Máximo: 24.749mm

Figura 3-15: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S1A extraída del software U.T.M



Observaciones de la falla: Se evidencia que la falla fue iniciada por el desplazamiento del bloque en el apoyo, lo cual causó que el patín inferior recibiera además del esfuerzo a tracción de las fibras, el cortante transversal que fisuró el elemento de unión y continuó hasta romper las fibras del patín superior. Los elementos internos de madera reciclable, no sufrieron ningún daño. Falla frágil.

Figura 3-16: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S1A



3.3.2 Viga S1B

Tiempo de la prueba: 16 Minutos con 10 segundos

Velocidad del ensayo: 1.5mm/minuto.

Luz entre apoyos: 2820mm

Tercio de la Luz: 940mm

Figura 3-17: Montaje gráfico de la viga S1B

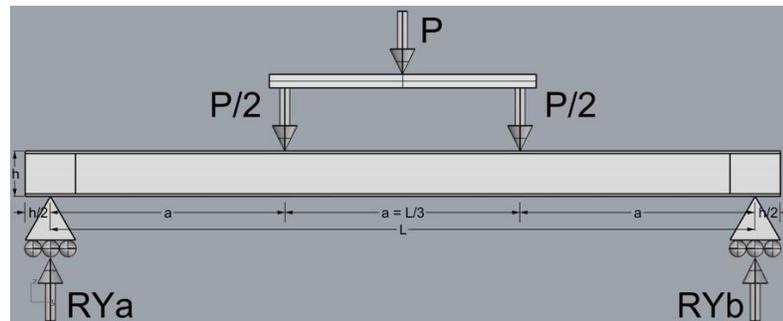


Figura 3-18: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S1B



Tabla 3-2: Contenido de humedad viga S1B previo al ensayo

Contenido de Humedad S1B				
Tapa 1	Pieza 1	Tapa 2	Patín Superior	Patín Inferior
15.5	16%	14%	14%	13.6%

FUENTE: Elaborado por el autor.

3.3.2.1 Resultado Viga S1B

Carga Máxima: 955.37kgf

Desplazamiento Máximo: 24.8962mm

Figura 3-19: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S1B extraída del software U.T.M



Observaciones de la falla: Se evidencia que la falla fue iniciada por el desplazamiento del bloque en el apoyo, como parte de la reacción natural del elemento, causando que el patín inferior recibiera además del esfuerzo a tracción de las fibras, el cortante transversal que fisuró el elemento de unión y continuo hasta romper las fibras del patín superior y provocar un desprendimiento del material por la línea de cola. Los elementos internos de madera reciclable, no sufrieron ningún daño. Falla frágil.

Figura 3-20: Fotografía de la falla mecánica frágil presentada en la viga S1B



3.3.3 Viga S2A

Tiempo de la prueba: 21 Minutos con 35 segundos

Velocidad del ensayo: 1.5mm/minuto.

Luz entre apoyos: 2820mm

Tercio de la Luz: 940mm

Figura 3-21: Montaje gráfico de la viga S2A

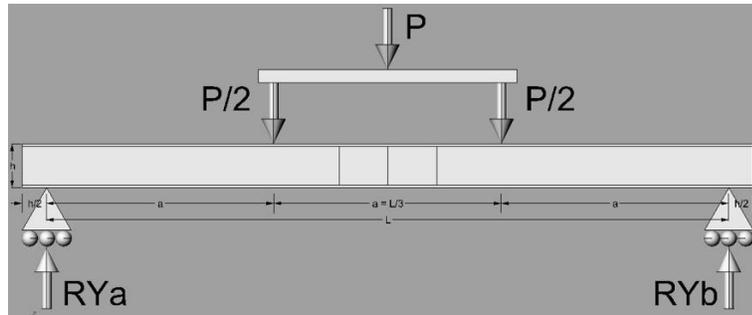


Figura 3-22: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S2A



Tabla 3-3: Contenido de humedad viga S2A previo al ensayo

Contenido de Humedad S2A					
Pieza 2	Tapa 1	Tapa 2	Pieza 2	Patín Superior	Patín Inferior
16%	14.2%	15.7%	15.7%	13.2%	13.6%

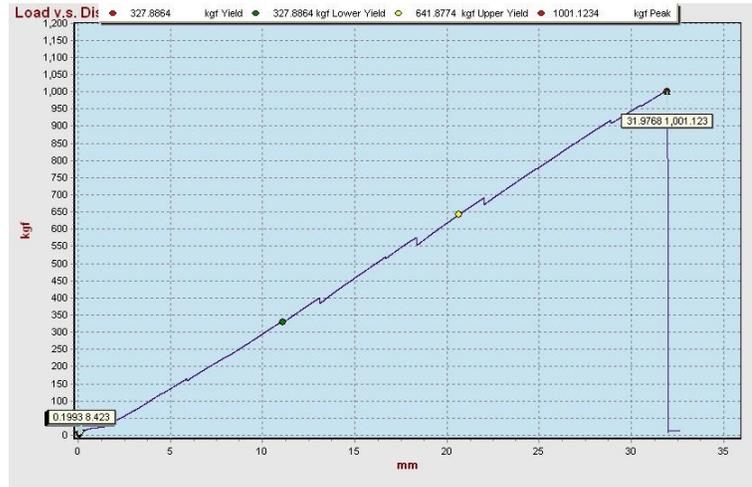
FUENTE: Elaborado por el autor.

3.3.3.1 Resultado Viga S2A

Carga Máxima: 1001.12kgf

Desplazamiento Máximo: 31.97mm

Figura 3-23: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S2A extraída del software U.T.M



Observaciones de la falla: Se evidencia que la falla fue iniciada en el centro de la luz por el cortante transversal inducido por los esfuerzos que resiste la viga, causando que el patín inferior y el superior fallaran por el cortante transversal que fisuró el elemento de unión. Los elementos internos de madera reciclable, no sufrieron ningún daño. Falla frágil.

Figura 3-24 Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S1A



3.3.4 Viga S2B

Tiempo de la prueba: 11 Minutos con 15 segundos

Velocidad del ensayo: 1.5mm/minuto.

Luz entre apoyos: 2820mm

Tercio de la Luz: 940mm

Figura 3-25: Montaje gráfico de la viga S2B

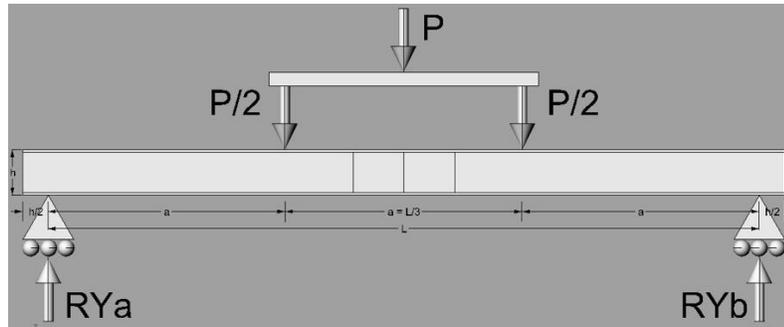


Figura 3-26: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S2B



Tabla 3-4: Contenido de humedad viga S2B previo al ensayo

Contenido de Humedad S2B					
Pieza 2	Tapa 1	Tapa 2	Pieza 2	Patín Superior	Patín Inferior
16.4%	14.4%	13.5%	15.7%	13.6%	14%

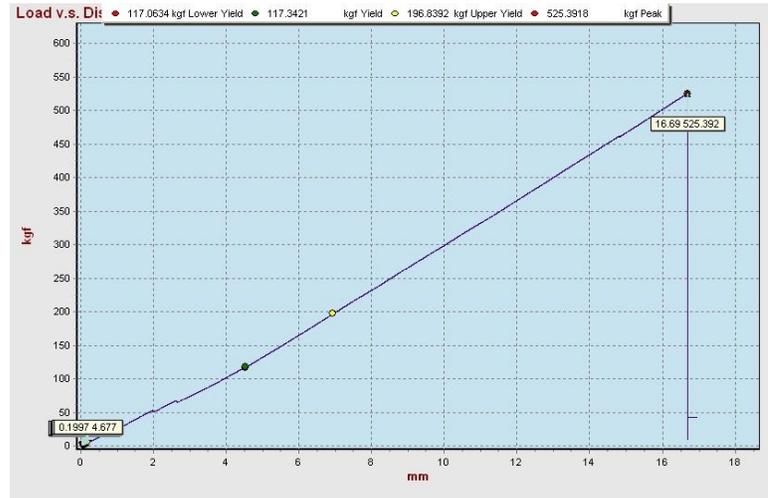
FUENTE: Elaborado por el autor.

3.3.4.1 Resultado Viga S2B

Carga Máxima: 525.38kgf

Desplazamiento Máximo: 16.69mm

Figura 3-27: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S2B extraída del software U.T.M



Observaciones de la falla: Se evidencia que la falla fue iniciada en el centro de la luz por el cortante transversal inducido por los esfuerzos que resiste la viga, causando que el patín inferior fallara por tracción en las fibras, el patín superior fallo por el cortante transversal que fisuró el elemento de unión, rompiendo las fibras. Los elementos internos de madera reciclable, no sufrieron ningún daño. Falla frágil.

Figura 3-28: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S2B



3.3.5 Viga S3A

Tiempo de la prueba: 12 Minutos con 35 segundos

Velocidad del ensayo: 1.5mm/minuto.

Luz entre apoyos: 2820mm

Tercio de la Luz: 940mm

Figura 3-29: Montaje gráfico de la viga S3A

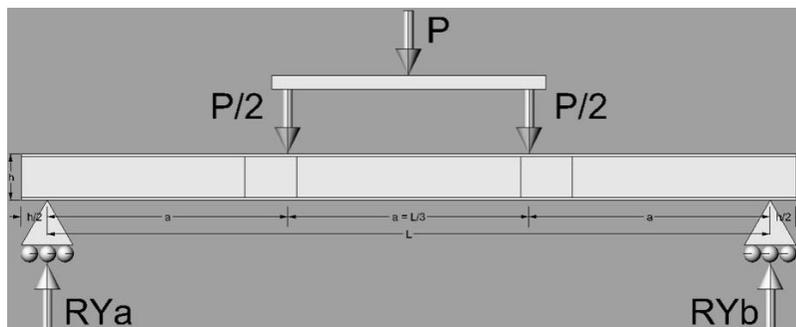


Figura 3-30: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S3A



Tabla 3-5: Contenido de humedad viga S3A previo al ensayo

Contenido de Humedad S3A				
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3
16.2%	14.2%	15.5%	13.8%	15.2%
Patín Superior			Patín Inferior	
13.6%			14.1%	

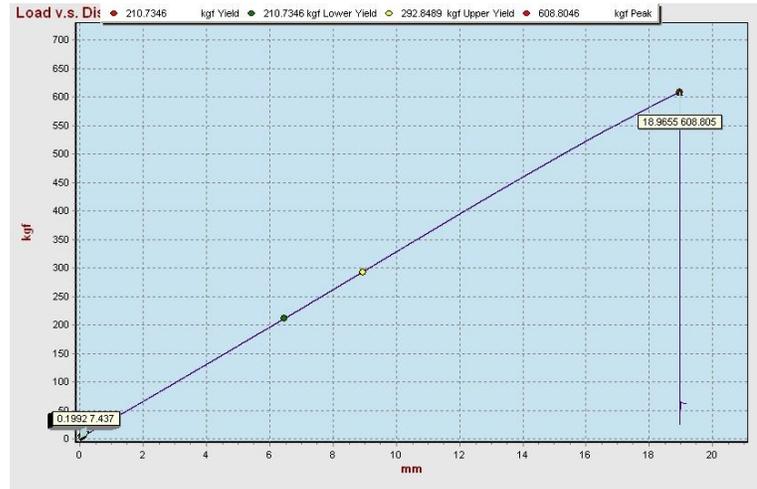
FUENTE: Elaborado por el autor.

3.3.5.1 Resultado Viga S3A

Carga Máxima: 608.805kgf

Desplazamiento Máximo: 18.96mm

Figura 3-31: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S3A extraída del software U.T.M



Observaciones de la falla: Se evidencia que la falla fue iniciada en el tercio de la luz por el cortante transversal inducido por los esfuerzos que resiste la viga, causando que el patín inferior fallara por tracción en las fibras, el elemento de unión falló por el cortante transversal que lo fisuró, rompiendo las fibras. Los elementos internos de madera reciclable, no sufrieron ningún daño. Falla frágil.

Figura 3-32: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S3A



3.3.6 Viga S3B

Tiempo de la prueba: 20 minutos con 42 segundos

Velocidad del ensayo: 1.5mm/minuto.

Luz entre apoyos: 2820mm

Tercio de la Luz: 940mm

Figura 3-33: Montaje gráfico de la viga S3B

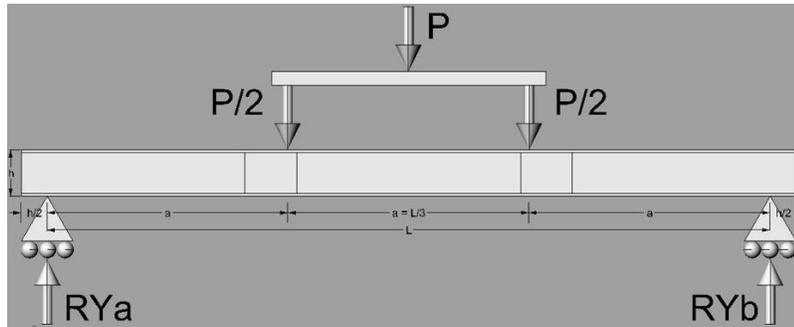


Figura 3-34: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S3B



Tabla 3-6: Contenido de humedad viga S3B previo al ensayo

Contenido de Humedad S3B				
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3
16%	15.8%	14.6%	13.8%	16.2%
Patín Superior		Patín Inferior		
14%		13.9%		

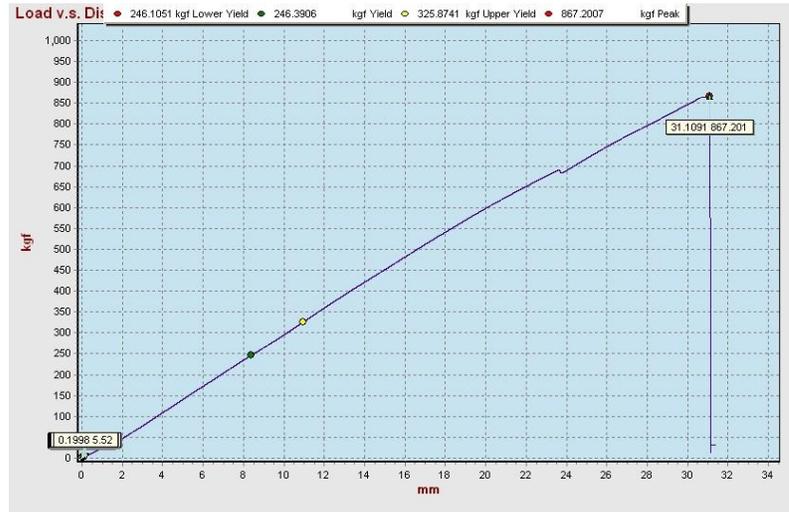
FUENTE: Elaborado por el autor.

3.3.6.1 Resultado Viga S3B

Carga Máxima: 867.20kgf

Desplazamiento Máximo: 31.11mm

Figura 3-35: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S3B extraída del software U.T.M



Observaciones de la falla: Se evidencia que la falla fue iniciada en el tercio de la luz por el cortante transversal inducido por los esfuerzos que resiste la viga, causando que el patín inferior fallara por tracción en las fibras, el elemento de unión y el patín superior fallaron por el cortante transversal que los fisuró, rompiendo las fibras. Los elementos internos de madera reciclable, no sufrieron ningún daño. Falla frágil.

Figura 3-36: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S3B



3.3.7 Viga S4A

Tiempo de la prueba: 17 Minutos con 30 segundos

Velocidad del ensayo: 1.5mm/minuto.

Luz entre apoyos: 2820mm

Tercio de la Luz: 940mm

Figura 3-37: Montaje gráfico de la viga S4A

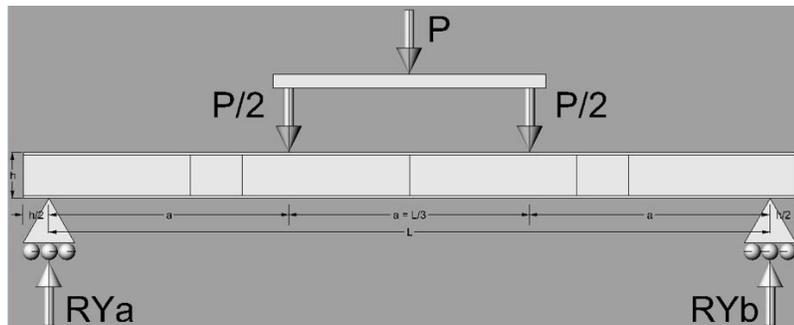


Figura 3-38: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S4A



Tabla 3-7: Contenido de humedad viga S4A previo al ensayo

Contenido de Humedad S4A					
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Pieza 3	Tapa 2	Pieza 4
16.5%	14.2%	15.8%	15.3%	14%	16.1%
Patín Superior			Patín Inferior		
14.2%			13.9%		

FUENTE: Elaborado por el autor.

3.3.7.1 Resultado Viga S4A

Carga Máxima: 657.89kgf

Desplazamiento Máximo: 26.38mm

Figura 3-39: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S4A extraída del software U.T.M



Observaciones de la falla: Se evidencia que la falla fue iniciada en el tercio de la luz por el desplazamiento de las piezas internas de madera reciclable, inducido por los esfuerzos que soporta la viga, causando que se generara un desprendimiento por la línea de cola y ninguno de los elementos de refuerzo fallaron visiblemente. Los elementos internos de madera reciclable, no sufrieron ningún daño. Falla frágil.

Figura 3-40: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S4A



3.3.8 Viga S4B

Tiempo de la prueba: 17 Minutos con 20 segundos

Velocidad del ensayo: 1.5mm/minuto.

Luz entre apoyos: 2820mm

Tercio de la Luz: 940mm

Figura 3-41: Montaje gráfico de la viga S4B

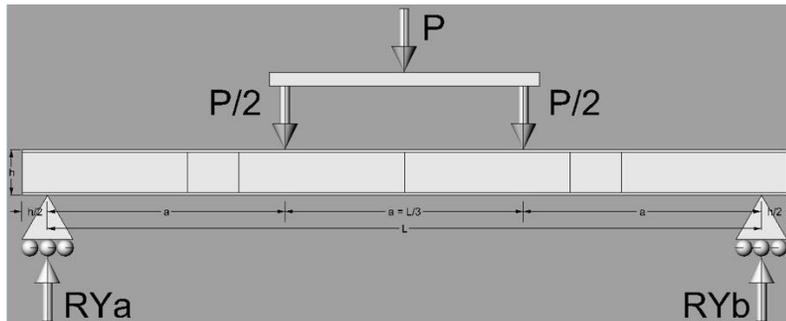


Figura 3-42: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S4B



Tabla 3-8: Contenido de humedad viga S4B previo al ensayo

Contenido de Humedad S4B					
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Pieza 3	Tapa 2	Pieza 4
16.3	14.1%	15.7%	15.4%	13.8%	15.7%
Patín Superior			Patín Inferior		
14.2%			13.5%		

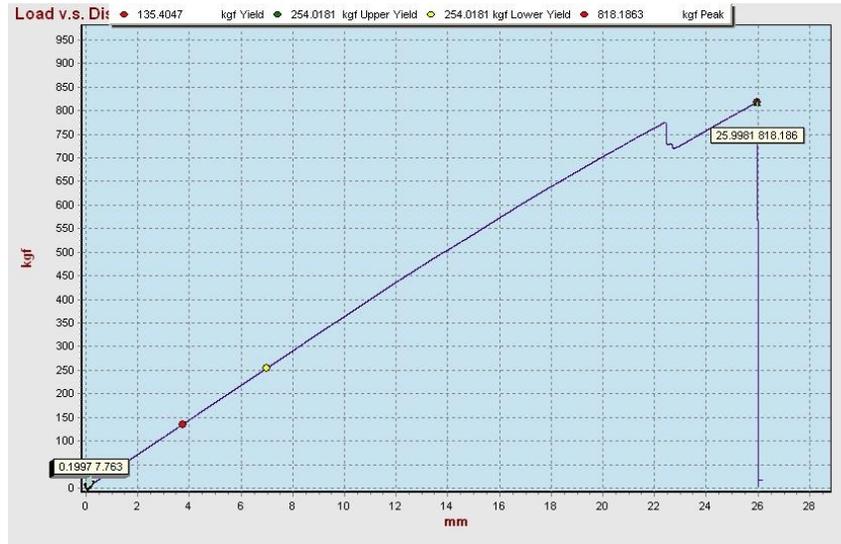
FUENTE: Elaborado por el autor.

3.3.8.1 Resultado Viga S4B

Carga Máxima: 818.19kgf

Desplazamiento Máximo: 26mm

Figura 3-43: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S4B extraída del software U.T.M



Observaciones de la falla: Se evidencia que la falla fue iniciada en el tercio de la luz porque el patín inferior falló por tracción en las fibras, generando un desprendimiento de los elementos por la línea de cola en algunos lugares de la viga. Los elementos internos de madera reciclable, no sufrieron ningún daño. Falla frágil.

Figura 3-44: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S4B



3.3.9 Viga S5A

Tiempo de la prueba: 14 Minutos con 22 segundos

Velocidad del ensayo: 1.5mm/minuto.

Luz entre apoyos: 2820mm

Tercio de la Luz: 940mm

Figura 3-45: Montaje gráfico de la viga S5A

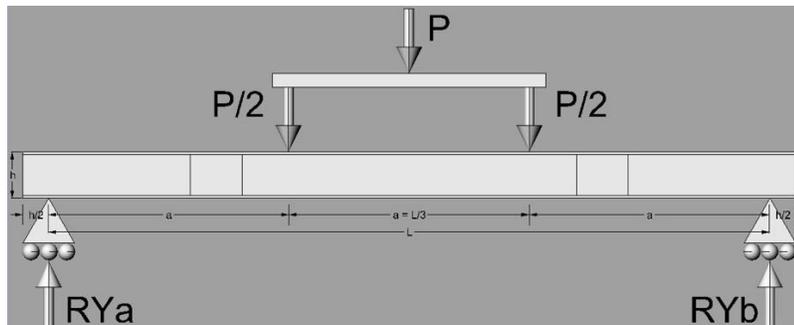


Figura 3-46: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S5A



Tabla 3-9: Contenido de humedad viga S5A previo al ensayo

Contenido de Humedad S5A				
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3
16.4%	13.9%	15.4%	14.3%	16.1%
Patín Superior		Patín Inferior		
14.3%		13.7%		

FUENTE: Elaborado por el autor.

3.3.9.1 Resultado Viga S5A

Carga Máxima: 812.34kgf

Desplazamiento Máximo: 22.82mm

Figura 3-47: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S5A extraída del software U.T.M



Observaciones de la falla: Se evidencia que la falla fue iniciada en el tercio de la luz por el cortante transversal inducido por los esfuerzos que resiste la viga, causando que el patín inferior fallara por tracción en las fibras, el elemento de unión y el patín superior fallaron por el cortante transversal que los fisuró, rompiendo las fibras. Los elementos internos de madera reciclable, no sufrieron ningún daño. Falla frágil.

Figura 3-48: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S5A



3.3.10 Viga S5B

Tiempo de la prueba: 19 Minutos con 10 segundos

Velocidad del ensayo: 1.5mm/minuto.

Luz entre apoyos: 2820mm

Tercio de la Luz: 940mm

Figura 3-49: Montaje gráfico de la viga S5B

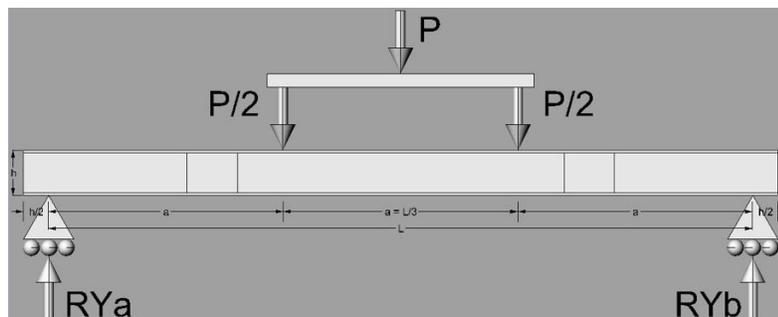


Figura 3-50: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S5B



Tabla 3-10: Contenido de humedad viga S5B previo al ensayo

Contenido de Humedad S5B				
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3
16.3%	13.8%	15.5%	14.3%	15.6%
Patín Superior		Patín Inferior		
13.7%		13.4%		

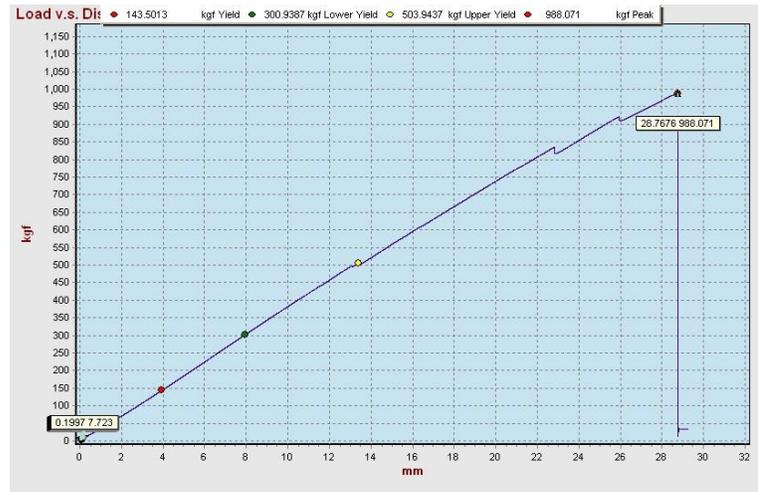
FUENTE: Elaborado por el autor.

3.3.10.1 Resultado Viga S5B

Carga Máxima: 988.07kgf

Desplazamiento Máximo: 28.76mm

Figura 3-51: Gráfica carga Vs. deformación de la viga S5B extraída del software U.T.M



Observaciones de la falla: Se evidencia que la falla fue iniciada en el tercio de la luz por tracción en las fibras del patín inferior, adicionalmente se evidencia un desprendimiento por la línea de cola que generó una rotación de la pieza que indujo un cortante transversal por el elemento de unión y que terminó con la ruptura de las fibras del patín superior. Los elementos internos de madera reciclable, no sufrieron ningún daño. Falla frágil.

Figura 3-52: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S5B



3.3.11 Viga S6A

Tiempo de la prueba: 22 Minutos con 51 segundos

Velocidad del ensayo: 1.5mm/minuto.

Luz entre apoyos: 2820mm

Tercio de la Luz: 940mm

Figura 3-53: Montaje gráfico de la viga S6A

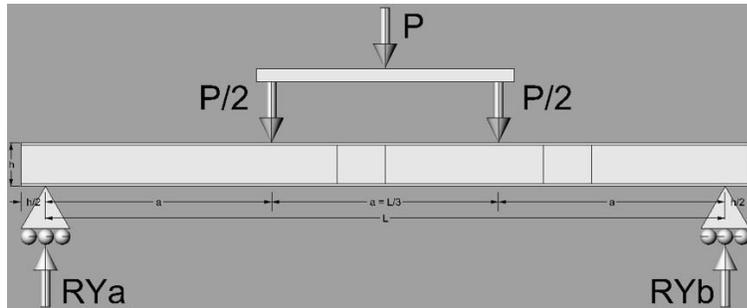


Figura 3-54: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S6A



Tabla 3-11: Contenido de humedad viga S6A previo al ensayo

Contenido de Humedad S6A				
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3
14.2%	13.8%	15.3%	14.4%	15.5%
Patín Superior			Patín Inferior	
13.5%			14%	

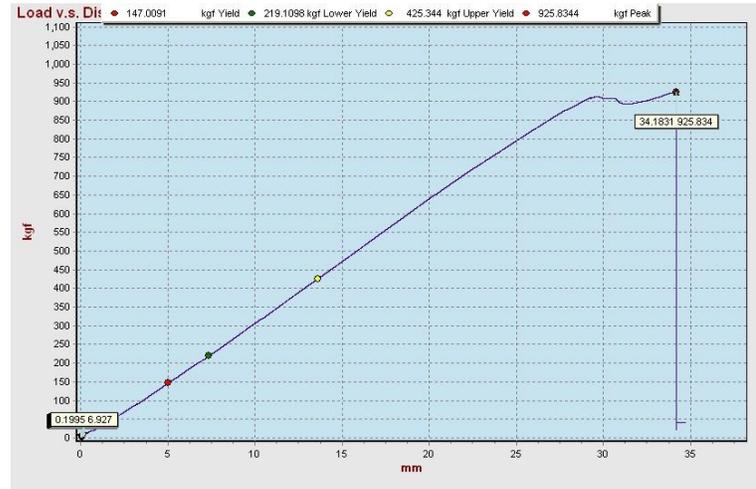
FUENTE: Elaborado por el autor.

3.3.11.1 Resultado Viga S6A

Carga Máxima: 925.83kgf

Desplazamiento Máximo: 34.18mm

Figura 3-55: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S6A extraída del software U.T.M



Observaciones de la falla: Se evidencia que la falla fue iniciada en el centro de la luz por tracción en las fibras del patín inferior, adicionalmente se evidencia un desprendimiento por la línea de cola que generó una rotación de la pieza que indujo un cortante transversal por el elemento de unión y que terminó con la ruptura de las fibras del patín superior. Los elementos internos de madera reciclable, no sufrieron ningún daño. Falla frágil.

Figura 3-56: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S6A



3.3.12 Viga S6B

Tiempo de la prueba: 16 Minutos, 45 segundos

Velocidad del ensayo: 1.5mm/minuto.

Luz entre apoyos: 2820mm

Tercio de la Luz: 940mm

Figura 3-57: Montaje gráfico de la viga S6B

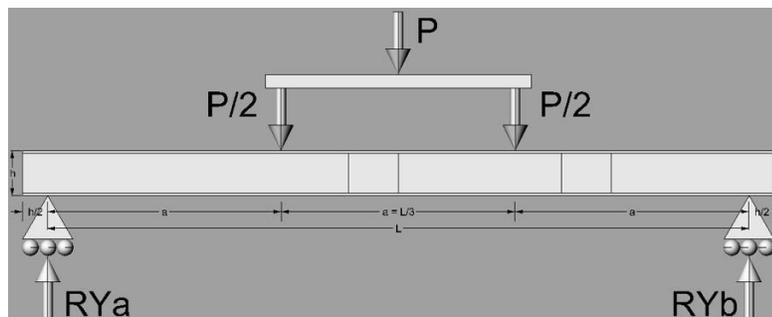


Figura 3-58: Fotografía del montaje durante el ensayo de la viga S6B



Tabla 3-12: Contenido de humedad viga S6B previo al ensayo

Contenido de Humedad S6B				
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3
15.7%	15.2%	15.8%	14.3%	16.4%
Patín Superior		Patín Inferior		
13.7%		14.3%		

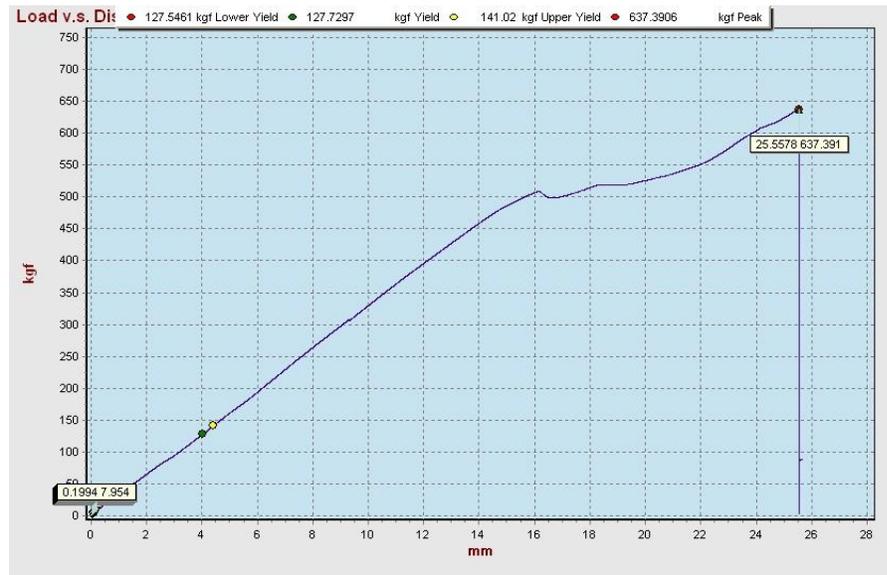
FUENTE: Elaborado por el autor.

3.3.12.1 Resultado Viga S6B

Carga Máxima: 637.39kgf

Desplazamiento Máximo: 25.56mm

Figura 3-59: Gráfica carga Vs. desplazamiento de la viga S6B extraída del software U.T.M



Observaciones de la falla: Se evidencia que la falla fue iniciada en el centro de la luz por tracción en las fibras del patín inferior. Los elementos internos de madera reciclable, no sufrieron ningún daño. Falla frágil.

Figura 3-60: Fotografías de la falla mecánica frágil presentada en la viga S6B



4. Análisis de los resultados

En este capítulo se recoge la información obtenida de los cálculos y ensayos realizados para esta investigación.

4.1 Cálculo del cortante en la carga máxima

Los resultados obtenidos en la máquina universal (carga Vs. desplazamiento) y las dimensiones de los elementos, permitieron calcular el cortante (v) en la carga máxima, con el fin de conocer los valores para cada elemento, ya que estos valores serán utilizados más adelante

Donde (v) es igual a:

(Ecuación 4.1)

$$v = \frac{P}{2}$$

P= Carga máxima en Newton

Tabla 4-1: Resumen de datos del ensayo y cálculo del cortante_{max}

Cortante (v) Carga Maxima			
Probeta	P (kgf)	P (N)	v (N)
S1A	945.68	9273.92	4636.96
S1B	955.37	9368.96	4684.48
S2A	1001.12	9817.60	4908.80
S2B	525.39	5152.30	2576.15
S3A	608.81	5970.32	2985.16
S3B	867.20	8504.30	4252.15
S4A	657.89	6451.64	3225.82
S4B	818.19	8023.63	4011.82
S5A	812.34	7966.30	3983.15
S5B	988.07	9689.62	4844.81
S6A	925.83	9079.30	4539.65
S6B	637.39	6250.65	3125.32

FUENTE: Elaborado por el autor.

4.2 Cálculo del momento en la carga máxima

Los resultados obtenidos en la máquina universal (carga Vs. deformación) y las dimensiones de los elementos, permitieron calcular el momento (m) en la carga máxima, con el fin de conocer los valores para cada elemento, ya que estos valores serán utilizados más adelante

Donde (m) es igual a: (Ecuación 4.2)

$$m = \frac{P * a}{2}$$

P= Carga máxima en Newton

a= distancia entre el apoyo y el tercio medio donde se ejerce la carga

Tabla 4-2: Resumen de datos del ensayo y cálculo del momento_{max}

Momento (m) Carga Maxima				
Probeta	a(mm)	P (kgf)	P (N)	m (N*mm)
S1A	940.00	945.68	9273.92	4358741.62
S1B	940.00	955.37	9368.96	4403413.09
S2A	940.00	1001.12	9817.60	4614270.58
S2B	940.00	525.39	5152.30	2421579.45
S3A	940.00	608.81	5970.32	2806048.23
S3B	940.00	867.20	8504.30	3997018.79
S4A	940.00	657.89	6451.64	3032272.49
S4B	940.00	818.19	8023.63	3771107.95
S5A	940.00	812.34	7966.30	3744163.10
S5B	940.00	988.07	9689.62	4554121.72
S6A	940.00	925.83	9079.30	4267269.25
S6B	940.00	637.39	6250.65	2937804.20

FUENTE: Elaborado por el autor.

4.3 Cálculo de la deflexión en la carga máxima

Para realizar el cálculo de la deflexión en la carga máxima, es necesario realizar una corrección ya que el sistema de la máquina también contabiliza cualquier recorrido adicional del cabezote de ensayos, por ejemplo la acomodación del cabezal en la pieza de prueba, la cual nos entrega un valor no real y por esto se decidió utilizar el comparador de caratula ya que este elemento si registra el desplazamiento que tiene la viga, por tener un contacto con la superficie inferior de la viga, la cual comenzará a reaccionar cuando la carga este siendo aplicada completa en la viga.

Tabla 4-3: Resumen de los datos del ensayo y cálculo de la corrección del desplazamiento

Deformación corregida (Δ) 8mm									
Probeta	a(m)	P (kgf)	P (N)	m (N*mm)	P(8mm) Comparador	P(8mm) Comparador (N)	Δ (mm) Ensayo 8mm	(mm) Comparador 8mm	Δ (mm)Diferencia
S1A	940.00	945.68	9273.92	4358741.62	450.90	4421.53	12.83	8.00	4.83
S1B	940.00	955.37	9368.96	4403413.09	390.02	3824.54	9.67	8.00	1.67
S2A	940.00	1001.12	9817.60	4614270.58	365.00	3579.19	12.12	8.00	4.12
S2B	940.00	525.39	5152.30	2421579.45	323.00	3167.34	10.71	8.00	2.71
S3A	940.00	608.81	5970.32	2806048.23	301.80	2959.45	9.21	8.00	1.21
S3B	940.00	867.20	8504.30	3997018.79	318.70	3125.17	10.73	8.00	2.73
S4A	940.00	657.89	6451.64	3032272.49	311.20	3051.63	9.27	8.00	1.27
S4B	940.00	818.19	8023.63	3771107.95	366.01	3589.09	10.06	8.00	2.06
S5A	940.00	812.34	7966.30	3744163.10	271.87	2665.96	7.82	8.00	-0.18
S5B	940.00	988.07	9689.62	4554121.72	386.67	3791.69	10.10	8.00	2.10
S6A	940.00	925.83	9079.30	4267269.25	320.47	3142.53	10.48	8.00	2.48
S6B	940.00	637.39	6250.65	2937804.20	332.80	3263.44	10.10	8.00	2.10

FUENTE: Elaborado por el autor.

Con el fin de conocer el valor a corregir en las deformaciones, se realizó cada 0.5mm o media vuelta del comparador de carátula, la toma de 16 datos de carga tomados del software de la máquina universal, para así poder hallar los valores en la máxima deformación admisible por la NSR-10, que corresponde a 8mm; luego a esto, se realizó la resta correspondiente tanto en la Deflexión_{max} y Desplazamiento_{ip}, con el fin de establecer los valores reales a los que está sometida la viga durante el ensayo.

Tabla 4-4: Deflexión corregida en la carga máxima.

Deflexión máxima la carga maxima (Δ)			
Probeta	P (kgf)	P (N)	Δ (mm)
S1A	945.68	9273.92	19.92
S1B	955.37	9368.96	23.23
S2A	1001.12	9817.60	27.86
S2B	525.39	5152.30	13.98
S3A	608.81	5970.32	17.76
S3B	867.20	8504.30	28.38
S4A	657.89	6451.64	25.11
S4B	818.19	8023.63	23.94
S5A	812.34	7966.30	23.03
S5B	988.07	9689.62	26.67
S6A	925.83	9079.30	31.70
S6B	637.39	6250.65	23.46

FUENTE: Elaborado por el autor.

4.4 Cálculo del cortante en el límite proporcional

Los resultados obtenidos en la máquina universal (carga Vs. deformación) y las dimensiones de los elementos, permitieron calcular el cortante en el límite proporcional (v_{lp}) en la carga del límite proporcional con el fin de conocer los valores para cada elemento, ya que estos valores serán utilizados más adelante

Donde (v_{lp}) es igual a:

(Ecuación 4.3)

$$v_{lp} = \frac{P_{lp}}{2}$$

P= Carga en el límite proporcional en Newton

Tabla 4-5: Resumen de datos del ensayo y cálculo del cortante v_{lp}

Cortante (v_{lp}) Limite Proporcional			
Probeta	P_{lp} (kgf)	P_{lp} (N)	v_{lp} (N)
S1A	890.28	8730.63	4365.32
S1B	955.37	9368.96	4684.48
S2A	1001.12	9817.60	4908.80
S2B	525.39	5152.30	2576.15
S3A	608.81	5970.32	2985.16
S3B	867.20	8504.30	4252.15
S4A	611.77	5999.35	2999.68
S4B	774.85	7598.64	3799.32
S5A	812.34	7966.30	3983.15
S5B	922.37	9045.30	4522.65
S6A	912.88	8952.30	4476.15
S6B	508.29	4984.60	2492.30

FUENTE: Elaborado por el autor.

4.5 Cálculo del momento en el límite proporcional

Los resultados obtenidos en la máquina universal (carga Vs. deformación) y las dimensiones de los elementos, permitieron calcular el momento en el límite proporcional (m_{ip}) en la carga del límite proporcional con el fin de conocer los valores para cada elemento, ya que estos valores serán utilizados más adelante

Donde (m_{ip}) es igual a:

(Ecuación 4.4)

$$m_{ip} = \frac{P_{ip} * a}{2}$$

P_{ip} = Carga en el límite proporcional en Newtons

a = Distancia entre el apoyo y el tercio medio donde se ejerce la carga

Tabla 4-6: Resumen de datos del ensayo y cálculo del momento m_{ip}

Momento (m_{ip}) Limite Proporcional				
Probeta	a(mm)	P_{ip} (kgf)	P_{ip} (N)	m_{ip} (N*mm)
S1A	940.00	890.28	8730.63	4103397.01
S1B	940.00	955.37	9368.94	4403403.88
S2A	940.00	1001.12	9817.60	4614270.58
S2B	940.00	525.39	5152.30	2421579.45
S3A	940.00	608.81	5970.32	2806048.23
S3B	940.00	867.20	8504.30	3997018.79
S4A	940.00	611.77	5999.39	2819714.24
S4B	940.00	774.85	7598.65	3571367.63
S5A	940.00	812.34	7966.30	3744163.10
S5B	940.00	922.37	9045.33	4251303.30
S6A	940.00	912.88	8952.26	4207562.86
S6B	940.00	508.29	4984.60	2342763.70

FUENTE: Elaborado por el autor.

4.6 Cálculo de la deflexión en el límite proporcional

Para realizar el cálculo de la deflexión en la carga máxima, es necesario realizar una corrección ya que el sistema de la máquina también contabiliza cualquier recorrido adicional del cabezote de ensayos, por ejemplo la acomodación del cabezal en la pieza de prueba, la cual nos entrega un valor no real y por esto se decidió utilizar el comparador de caratula ya que este elemento si registra el desplazamiento que tiene la viga, por tener un contacto con la superficie inferior de la viga, la cual comenzará a reaccionar cuando la carga este siendo aplicada completa en la viga.

Tabla 4-7: Resumen de los datos del ensayo y cálculo de la corrección del desplazamiento

Deformación corregida (Δ) 8mm									
Probeta	a(m)	P (kgf)	P (N)	m (N*mm)	P(8mm) Comparador	P(8mm) Comparador (N)	Δ (mm) Ensayo 8mm	(mm) Comparador 8mm	Δ (mm)Diferencia
S1A	940.00	945.68	9273.92	4358741.62	450.90	4421.53	12.83	8.00	4.83
S1B	940.00	955.37	9368.96	4403413.09	390.02	3824.54	9.67	8.00	1.67
S2A	940.00	1001.12	9817.60	4614270.58	365.00	3579.19	12.12	8.00	4.12
S2B	940.00	525.39	5152.30	2421579.45	323.00	3167.34	10.71	8.00	2.71
S3A	940.00	608.81	5970.32	2806048.23	301.80	2959.45	9.21	8.00	1.21
S3B	940.00	867.20	8504.30	3997018.79	318.70	3125.17	10.73	8.00	2.73
S4A	940.00	657.89	6451.64	3032272.49	311.20	3051.63	9.27	8.00	1.27
S4B	940.00	818.19	8023.63	3771107.95	366.01	3589.09	10.06	8.00	2.06
S5A	940.00	812.34	7966.30	3744163.10	271.87	2665.96	7.82	8.00	-0.18
S5B	940.00	988.07	9689.62	4554121.72	386.67	3791.69	10.10	8.00	2.10
S6A	940.00	925.83	9079.30	4267269.25	320.47	3142.53	10.48	8.00	2.48
S6B	940.00	637.39	6250.65	2937804.20	332.80	3263.44	10.10	8.00	2.10

FUENTE: Elaborado por el autor.

Para poder conocer el valor a corregir en las deformaciones, se realizó, cada 0.5mm o media vuelta del comparador de carátula, la toma de 16 datos de carga tomados del software de la máquina universal, para así poder hallar los valores en la máxima deformación admisible por la NSR-10, que corresponde a 8mm; luego a esto, se realizó la resta correspondiente tanto en la Deflexión_{max} y Desplazamiento_{Ip}, con el fin de establecer los valores reales a los que está sometida la viga durante el ensayo.

Tabla 4-8: Deflexión corregida en el límite proporcional

Deflexión en el límite proporcional (Δ_{Ip})			
Probeta	P_{Ip} (kgf)	P_{Ip} (N)	Δ_{Ip} (mm)
S1A	890.28	8730.63	17.95
S1B	955.37	9368.96	23.23
S2A	1001.12	9817.60	27.86
S2B	525.39	5152.30	13.98
S3A	608.81	5970.32	17.76
S3B	867.20	8504.30	28.38
S4A	611.77	5999.35	19.39
S4B	774.85	7598.64	20.36
S5A	812.34	7966.30	23.03
S5B	922.37	9045.30	23.84
S6A	912.88	8952.30	27.24
S6B	508.29	4984.60	14.09

4.7 Cálculo del eje neutro de la sección

Para poder realizar los cálculos de la inercia de la viga es necesario encontrar el eje neutro de la sección, la cual es una sección compuesta en forma de I, el cual es el punto donde los esfuerzos cambian de compresión a tracción.

Donde (y) es:

(Ecuación 4.5)

$$Y = \frac{A_1 * Y_1 + A_2 * Y_2 + A_3 * Y_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

A= Área de cada una de las piezas de la sección

Y= Distancia desde la base de la figura hasta el centro geométrico de la pieza

Tabla 4-9: Resumen de datos de las vigas y cálculo del eje neutro

Eje neutro Y							
Probeta	A ₁ (mm ²)	A ₂ (mm ²)	A ₃ (mm ²)	Y ₁ (mm)	Y ₂ (mm)	Y ₃ (mm)	Y _{eje neutro} (mm)
S1A	700.00	1048.42	700.00	175.00	90.00	5.00	90.00
S1B	700.00	758.85	700.00	175.00	90.00	5.00	90.00
S2A	700.00	673.98	700.00	175.00	90.00	5.00	90.00
S2B	700.00	409.38	700.00	175.00	90.00	5.00	90.00
S3A	700.00	309.53	700.00	175.00	90.00	5.00	90.00
S3B	700.00	379.43	700.00	175.00	90.00	5.00	90.00
S4A	700.00	349.47	700.00	175.00	90.00	5.00	90.00
S4B	700.00	604.09	700.00	175.00	90.00	5.00	90.00
S5A	700.00	723.91	700.00	175.00	90.00	5.00	90.00
S5B	700.00	723.91	700.00	175.00	90.00	5.00	90.00
S6A	700.00	389.41	700.00	175.00	90.00	5.00	90.00
S6B	700.00	494.25	700.00	175.00	90.00	5.00	90.00

FUENTE: Elaborado por el autor.

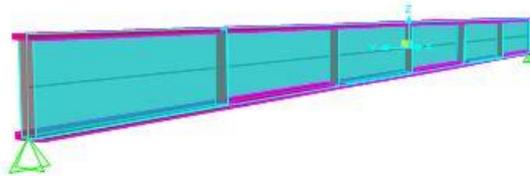
El elemento es simétrico respecto los ejes x, y, por esto el eje neutro se encuentra en el centro geométrico de la sección.

4.8 Cálculo del momento de inercia (Sección Transformada)

Como dato importante dentro de la obtención del módulo de elasticidad, módulo de ruptura, esfuerzo de la fibra tanto en tracción como en compresión, se realizó el cálculo de la inercia de la sección, la cual es una sección transformada, por esto es necesario conocer los MOE de los materiales utilizados para elaborar un coeficiente de relación con el cual se debe afectar el ancho del alma de la viga para poder tener una correlación con la resistencia y el coeficiente de elasticidad de las piezas internas de madera reciclable, se decidió afectar la base del alma de las vigas, para mantener constante el MOE del pino radiata ya que este si es conocido.

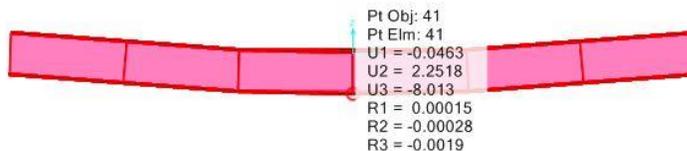
Como parte de este proceso, se debió modelar los diferentes ensambles en SAP2000, para poder realizar un modelo de elementos finitos en donde se calculó el MOE del alma de la viga, partiendo de la carga en el límite proporcional e iterando el MOE hasta encontrar los 8mm de deformación, ya que son especies recicladas y algunas no se encuentran caracterizadas y no se encuentran adheridas la una a la otra.

Figura 4-1: modelado de la viga en SAP2000 v.19



FUENTE: Elaborado por el autor

Figura 4-2: Cálculo de la deflexión y MOE por medio de elementos finitos



FUENTE: Elaborado por el autor

Después de este proceso se realizó la tabla con los valores encontrados para el MOE del alma de la viga y así calcular el coeficiente n, en donde (n) es:

(Ecuación 4.6)

$$n = \frac{MOE_A}{MOE_P}$$

MOE_A = Módulo de elasticidad del alma

MOE_{PR} = Módulo de elasticidad del Pino Radiata extraído de la NSR-10

Tabla 4-10: Cálculo del coeficiente necesario para calcular el área de la sección transformada

Coeficiente (n)			
Probeta	MOE _{PR} (MPa)	MOE _A (MPa)	n
S1A	11000.00	2059.39	0.19
S1B	11000.00	1490.61	0.14
S2A	11000.00	1323.89	0.12
S2B	11000.00	804.14	0.07
S3A	11000.00	608.01	0.06
S3B	11000.00	745.30	0.07
S4A	11000.00	686.46	0.06
S4B	11000.00	1186.60	0.11
S5A	11000.00	1421.96	0.13
S5B	11000.00	1421.96	0.13
S6A	11000.00	764.92	0.07
S6B	11000.00	970.85	0.09

FUENTE: Elaborado por el autor.

Después de realizar este cálculo, utilizamos la fórmula de la inercia con los datos ya corregidos, en donde sacamos las inercias de cada uno de las piezas que conforman la sección para luego sumarlas para la inercia del elemento, y la fórmula utilizada es para los elementos de Pino Radiata:

(Ecuación 4.7)

$$I_{ST} = \frac{b_{PR} * h_{PR}^3}{12} + 3A_1 * 2a^2$$

b_{PR} = ancho de la pieza de pino radiata

h_{PR} = ancho de la pieza de pino radiata

A = área de la pieza

a = distancia correspondiente de la pieza del centro geométrico al eje neutro

y la fórmula para calcular la inercia de los elementos de madera reutilizada es diferente en este caso ya que la distancia de la pieza geométrica con el eje neutro es 0. Y por esto queda:

(Ecuación 4.8)

$$I_{ST} = \frac{b_A * h_A^3}{12}$$

b_A= ancho de la pieza del alma

h_A= ancho de la pieza del alma

Luego de tener los datos, se realiza la sumatoria de las inercias resultantes y allí determinamos el valor de la inercia de cada elemento de sección compuesta; su fórmula es:

(Ecuación 4.9)

$$\sum I_{ST1}; I_{ST2}; I_{ST3}$$

I_{ST1} = Inercia de la primera pieza de Pino Radiata

I_{ST2} = Inercia de la primera pieza de Madera Reciclada

I_{ST1} = Inercia de la primera pieza de Pino Radiata

Tabla 4-11: Resumen de datos de las vigas y cálculo de la inercia

Inercia (I _{ST}) Sección Transformada								
Probeta	b _{PR} (mm)	h _{PR} (mm)	b _A (mm)	h _A (mm)	I _{ST1} (mm ⁴)	I _{ST2} (mm ⁴)	I _{ST3} (mm ⁴)	Σ I _{ST} (mm ⁴)
S1A	70.00	10.00	6.55	160.00	5063333.33	2236621.10	5063333.33	12363287.77
S1B	70.00	10.00	4.74	160.00	5063333.33	1618887.66	5063333.33	11745554.32
S2A	70.00	10.00	4.21	160.00	5063333.33	1437827.85	5063333.33	11564494.52
S2B	70.00	10.00	2.56	160.00	5063333.33	873347.29	5063333.33	11000013.96
S3A	70.00	10.00	1.93	160.00	5063333.33	660335.75	5063333.33	10787002.42
S3B	70.00	10.00	2.37	160.00	5063333.33	809443.83	5063333.33	10936110.49
S4A	70.00	10.00	2.18	160.00	5063333.33	745540.37	5063333.33	10872207.03
S4B	70.00	10.00	3.78	160.00	5063333.33	1288719.78	5063333.33	11415386.45
S5A	70.00	10.00	4.52	160.00	5063333.33	1544333.62	5063333.33	11671000.29
S5B	70.00	10.00	4.52	160.00	5063333.33	1544333.62	5063333.33	11671000.29
S6A	70.00	10.00	2.43	160.00	5063333.33	830744.98	5063333.33	10957411.65
S6B	70.00	10.00	3.09	160.00	5063333.33	1054407.09	5063333.33	11181073.76

FUENTE: Elaborado por el autor.

4.9 Cálculo del esfuerzo de la fibra en el límite proporcional (Compresión y tracción)

Uno de los valores más importantes que deben estar dentro de este proceso investigativo es determinar el esfuerzo de la fibra en el límite proporcional (S_f), en donde utilizamos la fórmula:

(Ecuación 4.10)

$$S_f = \frac{m_{lp} * c}{\sum I_{ST}}$$

m_{lp} = Momento en el límite proporcional
 c = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada.
 $\sum I_{ST}$ = Inercia de la viga

Tabla 4-12: Resumen de las propiedades mecánicas y valores de resistencia S_{fc}

Esfuerzo fibra en el limite proporcional S_{fc}				
Probeta	m_{lp} (N*mm)	c (mm)	I_{ST} (mm ⁴)	S_{fc} (MPa)
S1A	4103397.01	90.00	12363287.77	29.87
S1B	4403403.88	90.00	11745554.32	33.74
S2A	4614270.58	90.00	11564494.52	35.91
S2B	2421579.45	90.00	11000013.96	19.81
S3A	2806048.23	90.00	10787002.42	23.41
S3B	3997018.79	90.00	10936110.49	32.89
S4A	2819714.24	90.00	10872207.03	23.34
S4B	3571367.63	90.00	11415386.45	28.16
S5A	3744163.10	90.00	11671000.29	28.87
S5B	4251303.30	90.00	11671000.29	32.78
S6A	4207562.86	90.00	10957411.65	34.56
S6B	2342763.70	90.00	11181073.76	18.86
Esfuerzo ultimo promedio (MPa)=				28.52
Desviación estandar S (MPa)				5.87617
Datos atípicos - criterio de Chauvenet				
K (para n=12 datos)				2.03
Mínimo aceptable				16.59
Máximo aceptable				40.45
Coeficiente de variación (%)				20.61%
Percentil 5%				19.383
Valor característico (MPa)				16.27

FUENTE: Elaborado por el autor.

Al realizar cada uno de los cálculos podemos denotar que tenemos un promedio de 28.52 MPa el cual si revisamos la desviación estándar es baja, debido a que los valores no son tan dispersos, adicionalmente utilizamos el criterio de Chauvenet para buscar valores atípicos que deben ser eliminados, en donde la constante (K) es 2.03 y hace parte del cálculo que se utiliza para saber cuál es el valor mínimo aceptable y el máximo

aceptable, los cuales son 16.59 y 40.45 respectivamente. Y al contrastar estos valores con los del resultado encontramos que no hay ningún dato atípico ya que todos se encuentran en el rango y finalmente concluimos que el coeficiente de variación esté en 20.61%.

4.10 Cálculo del módulo de ruptura (Compresión y tracción)

Uno de los principales valores dentro de este proceso investigativo es determinar el módulo de ruptura (S_R), en donde utilizamos la fórmula:

(Ecuación 4.11)

$$S_R = \frac{m * c}{\sum I_{ST}}$$

m = Momento en la carga máxima

c = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada.

$\sum I_{ST}$ = Inercia de la viga

Tabla 4-13: Resumen de las propiedades mecánicas y valores de resistencia S_{r_c}

Modulo de Rotura (S_r)				
Probeta	m (N*mm)	c (mm)	I_{ST} (mm ⁴)	S_{r_c} (MPa)
S1A	4358741.62	90.00	12363287.77	31.73
S1B	4403413.09	90.00	11745554.32	33.74
S2A	4614270.58	90.00	11564494.52	35.91
S2B	2421579.45	90.00	11000013.96	19.81
S3A	2806048.23	90.00	10787002.42	23.41
S3B	3997018.79	90.00	10936110.49	32.89
S4A	3032272.49	90.00	10872207.03	25.10
S4B	3771107.95	90.00	11415386.45	29.73
S5A	3744163.10	90.00	11671000.29	28.87
S5B	4554121.72	90.00	11671000.29	35.12
S6A	4267269.25	90.00	10957411.65	35.05
S6B	2937804.20	90.00	11181073.76	23.65
Esfuerzo ultimo promedio (MPa)				29.59
Desviación estandar S (MPa)				5.41722
Datos atipicos - criterio de Chauvenet				
K (para n=12 datos)				2.03
Minimo aceptable				18.59
Maximo aceptable				40.58
Coeficiente de variación (%)				18.31%
Percentil 5%				21.79
Valor característico (MPa)				18.68

FUENTE: Elaborado por el autor.

Encontramos que en algunos casos el esfuerzo de la fibra en el límite proporcional es el mismo que el módulo de ruptura del elemento, ya que al tener una falla frágil el comportamiento del esfuerzo Vs. deformación es lineal, la falla es súbita y no cambia su comportamiento. Adicionalmente encontramos que el esfuerzo ultimo promedio es 29.59 MPa el cual si revisamos la desviación estándar es baja, debido a que los valores no son tan dispersos, igual que lo sucedido en el esfuerzo de la fibra en el límite proporcional, adicionalmente utilizamos el criterio de Chauvenet para buscar valores atípicos que deben ser eliminados, en donde la constante (K) es 2.03 y hace parte del cálculo que se utiliza para saber cuál es el valor mínimo aceptable y el máximo aceptable, los cuales son 18.59 y 40.58 respectivamente. Y al contrastar estos valores con los del resultado encontramos que no hay ningún dato atípico ya que todos se encuentran en el rango, también encontramos que el coeficiente de variación está en 18.31% y finalizamos con el valor característico de estas vigas, según el método analítico es 18.68 MPa.

4.11 Cálculo del Módulo Elástico

Como fin último de esta investigación es calcular el Módulo Elástico del elemento para poder así saber en qué grupo de madera estructural selecta puede llegar a entrar y si sus valores están por encima del valor de diseño asumido; para esto utilizamos el método analítico y el método gráfico.

4.11.1 Método Analítico

El método analítico parte del uso de los valores que han sido interpretados y calculados para conocer las diversas características mecánicas del elemento y para esto se utiliza la fórmula:

(Ecuación 4.12)

$$MOE_A = \frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$$

P= Carga en el límite proporcional

a= Distancia entre el apoyo y el tercio de la viga

Δ = Deformación en el límite proporcional

L= Luz entre apoyos

El análisis de los resultados del MOE_A de las probetas, nos refleja que las resistencias de este elemento compuesto están sobre los valores de diseño asumidos para las maderas estructurales selectas ES1, el cual es 18,000 MPa (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010) Encontramos que el esfuerzo último promedio que es 27,256.87 MPa; adicionalmente utilizamos el criterio de Chauvenet para buscar valores atípicos que deben ser eliminados, en donde la constante (K) es 2.03 y hace parte del cálculo que se utiliza para saber cuál es el valor mínimo aceptable y el máximo aceptable, los cuales son 22,841.34 y 31,672.40 respectivamente. Y al contrastar estos valores con los del resultado encontramos que no hay ningún dato atípico ya que todos se encuentran en el rango, también encontramos que el coeficiente de variación está en 7.98% y finalizamos con el valor característico de estas vigas, según el método analítico es 22,704.81 MPa.

Tabla 4-14: Resumen de las propiedades mecánicas y valores de resistencia MOE_A

Modulo de Elasticidad Método Analítico (MOE _A)					
Probeta	P _{ip} (N)	a(mm)	I _{ST} (mm ⁴)	Δ _{ip} (mm)	MOE _A (MPa)
S1A	8730.63	940.00	12363287.77	17.95	31314.64
S1B	9368.94	940.00	11745554.32	23.23	29711.03
S2A	9817.60	940.00	11564494.52	27.86	26367.69
S2B	5152.30	940.00	11000013.96	13.98	28989.71
S3A	5970.32	940.00	10787002.42	17.76	26970.45
S3B	8504.30	940.00	10936110.49	28.38	23707.77
S4A	5999.39	940.00	10872207.03	19.39	24622.17
S4B	7598.65	940.00	11415386.45	20.36	28290.76
S5A	7966.30	940.00	11671000.29	23.03	25646.25
S5B	9045.33	940.00	11671000.29	23.84	28128.10
S6A	8952.26	940.00	10957411.65	27.24	25951.47
S6B	4984.60	940.00	11181073.76	14.09	27382.42
Esfuerzo ultimo promedio (MPa)=					27256.87
Desviación estandar S (MPa)					2175.138
Datos atípicos - criterio de Chauvenet					
K (para n=12 datos)					2.03
Minimo aceptable					22841.34
Maximo aceptable					31672.40
Coeficiente de variación (%)					7.98%
Percentil 5%					24210.69
Valor característico (MPa)					22704.81

FUENTE: Elaborado por el autor.

4.11.2 Método Gráfico

Para la elaboración de este método gráfico, se tomaron en cuenta los datos que arrojó la máquina universal de ensayos a los cuales se les aplicó la corrección de la deformación en cada una de las vigas para luego realizar la gráfica correspondiente del esfuerzo vs. deformación y así hallar la pendiente de la recta, que nos indica el MOE_g. Teniendo en cuenta que para una viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales ubicadas simétricamente la deflexión en el centro de la luz está determinada por la ecuación.

(Ecuación 4.13)

$$\Delta = \frac{P * a}{24 E I} * (3L^2 - 4a^2)$$

Δ= Deflexión.

P= Fuerza.

a= Distancia entre la reacción y el punto de carga más cercano.

E= Modulo de elasticidad MOE.

I = Momento de inercia de la viga.

L= Luz, distancia entre las reacciones

Entonces la relación entre el esfuerzo y la deformación según la ley de Hooke será:

(Ecuación 4.14)

$$\frac{P * a}{24 I} * (3L^2 - 4a^2) = E * \Delta$$

Δ = Deflexión.

P=Fuerza.

a = Distancia entre la reacción y el punto de carga más cercano.

E= Modulo de elasticidad MOE.

I = Momento de inercia de la viga.

L= Luz, distancia entre las reacciones

Para cada viga se realizan entonces gráficos de esfuerzo vs. Deformación, con los valores de fuerza P y deformación del ensayo de flexión. Como se puede ver en la ecuación de la ley de Hooke, el módulo de elasticidad será la pendiente de la recta σ vs. Δ que describe el comportamiento de la viga en el rango elástico, es decir hasta el límite proporcional. (Ecuación 4.15)

$$\sigma = \frac{P * a}{24 I} * (3L^2 - 4a^2)$$

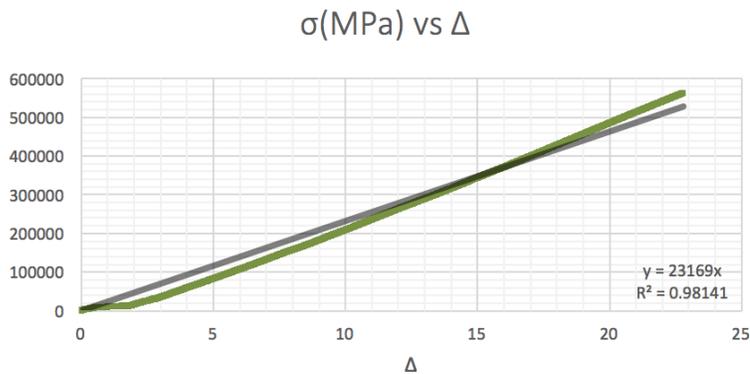
P=Fuerza.

a = Distancia entre la reacción y el punto de carga más cercano.

I = Momento de inercia de la viga.

L= Luz, distancia entre las reacciones

Figura 4-3: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S1A



E= 23.169 MPa

FUENTE: Elaborado por el autor.

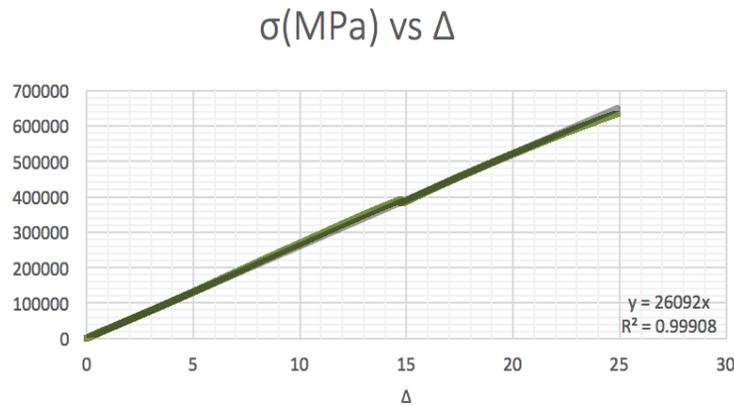
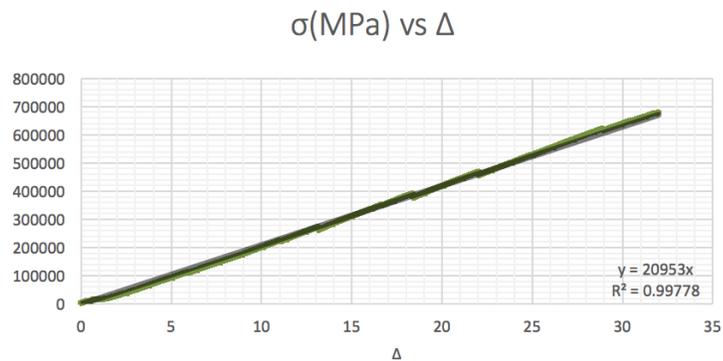
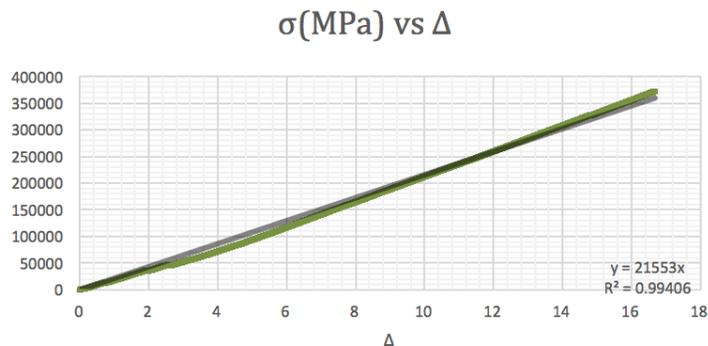
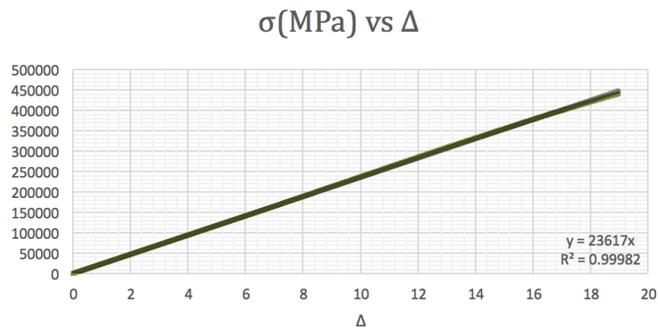
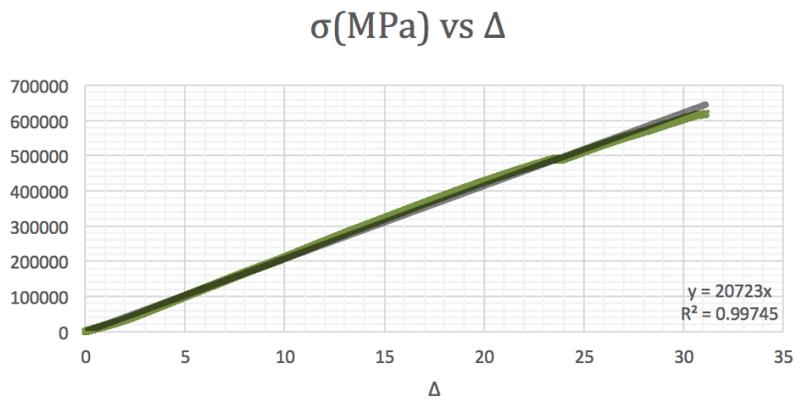
Figura 4-4: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S1B $E = 26092 \text{ MPa}$ **FUENTE:** Elaborado por el autor.**Figura 4-5:** Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S2A $E = 20953 \text{ MPa}$ **FUENTE:** Elaborado por el autor.**Figura 4-6:** Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S2B $E = 21553 \text{ MPa}$ **FUENTE:** Elaborado por el autor.

Figura 4-7: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S3A

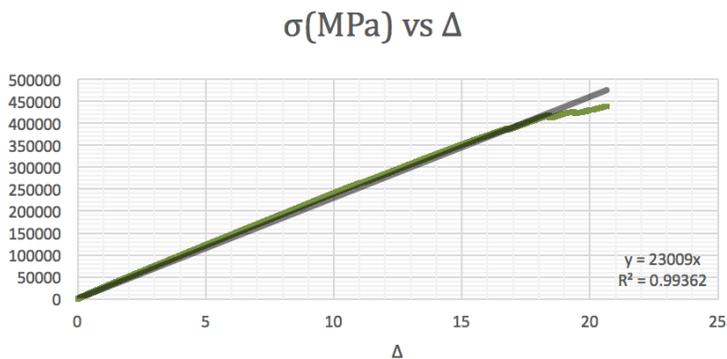
E= 23617 MPa

FUENTE: Elaborado por el autor.

Figura 4-8: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S3B

E= 20723 MPa

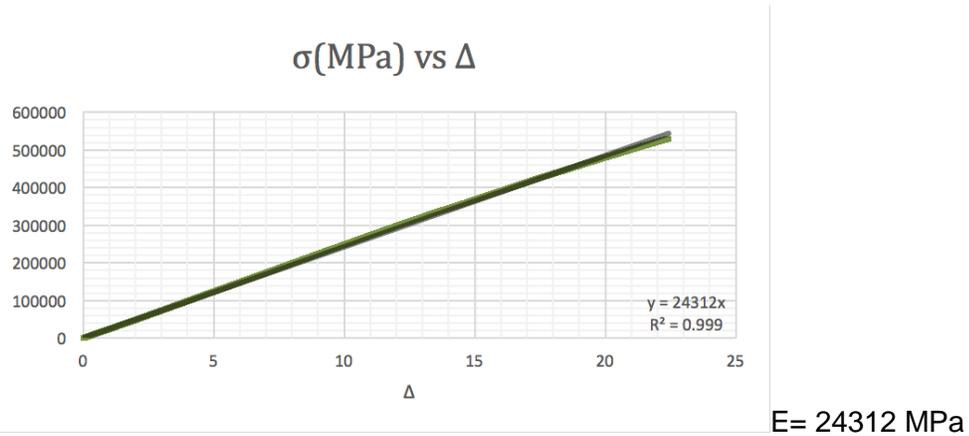
FUENTE: Elaborado por el autor.

Figura 4-9: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S4A

E= 23009 MPa

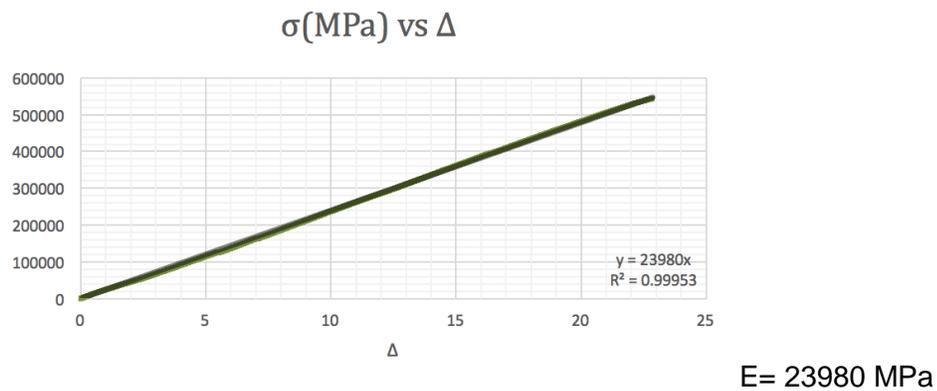
FUENTE: Elaborado por el autor.

Figura 4-10: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S4B



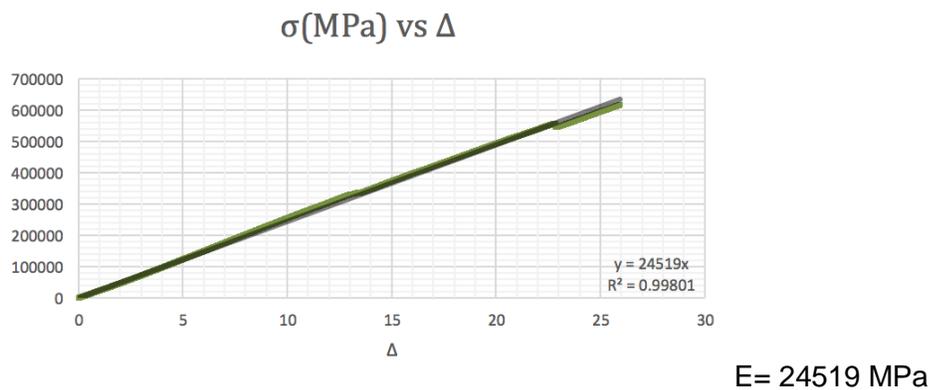
FUENTE: Elaborado por el autor.

Figura 4-11: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S5A



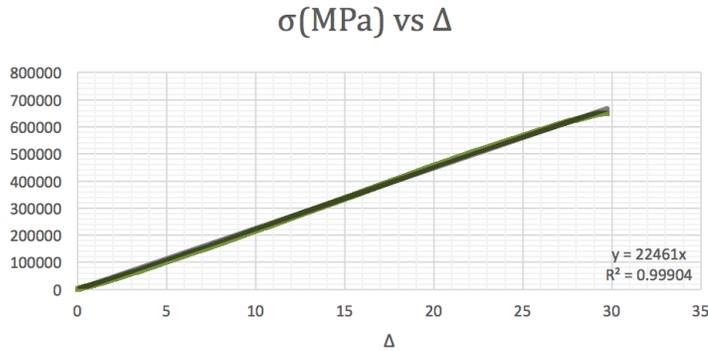
FUENTE: Elaborado por el autor.

Figura 4-12: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S5B



FUENTE: Elaborado por el autor.

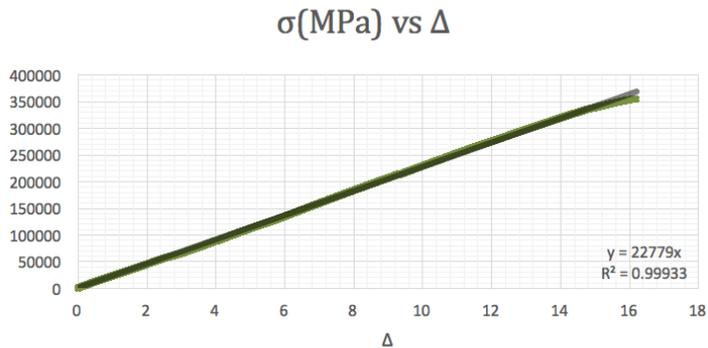
Figura 4-13: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S6A



$$E = 22761 \text{ MPa}$$

FUENTE: Elaborado por el autor.

Figura 4-14: Gráfica de cálculo del MOE_g en la viga S6B



$$E = 22779 \text{ MPa}$$

FUENTE: Elaborado por el autor.

El análisis de los resultados del MOE_g de las probetas, nos refleja que las resistencias de este elemento compuesto están sobre los valores de diseño asumidos para las maderas estructurales selectas ES1, el cual es 18,000 MPa (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). Encontramos que el esfuerzo último promedio que es 23,122.25 MPa; adicionalmente utilizamos el criterio de Chauvenet para buscar valores atípicos que deben ser eliminados, en donde la constante (K) es 2.03 y hace parte del cálculo que se utiliza para saber cuál es el valor mínimo aceptable y el máximo aceptable, los cuales son 19,980.11 y 26,264.39 respectivamente. Y al contrastar estos valores con los del resultado encontramos que no hay ningún dato atípico ya que todos se encuentran en el

rango, también encontramos que el coeficiente de variación está en 6.69%.y finalizamos con el valor característico de estas vigas, según el método analítico es 19,761.65 MPa.

Tabla 4-15: Resumen de las propiedades mecánicas y valores de resistencia MOE_g

Modulo de Elasticidad Método Gráfico (MOE_g)						
Probeta	P_{Ip} (N)	a(mm)	ΣI_{ST} (mm ⁴)	Luz (mm)	Δ_{Ip} (mm)	MOE_g
S1A	8730.63	940.00	12363287.77	2820.00	17.95	23169.00
S1B	9368.94	940.00	11745554.32	2820.00	23.23	26092.00
S2A	9817.60	940.00	11564494.52	2820.00	27.86	20953.00
S2B	5152.30	940.00	11000013.96	2820.00	13.98	21553.00
S3A	5970.32	940.00	10787002.42	2820.00	17.76	23617.00
S3B	8504.30	940.00	10936110.49	2820.00	28.38	20723.00
S4A	5999.39	940.00	10872207.03	2820.00	19.39	23009.00
S4B	7598.65	940.00	11415386.45	2820.00	20.36	24312.00
S5A	7966.30	940.00	11671000.29	2820.00	23.03	23980.00
S5B	9045.33	940.00	11671000.29	2820.00	23.84	24519.00
S6A	8952.26	940.00	10957411.65	2820.00	27.24	22761.00
S6B	4984.60	940.00	11181073.76	2820.00	14.09	22779.00
Esfuerzo ultimo promedio (MPa)=						23122.25
Desviación estandar S (MPa)						1547.851
Datos atípicos - criterio de Chauvenet						
K (para n=12 datos)						2.03
Minimo aceptable						19980.11
Maximo aceptable						26264.39
Coeficiente de variación (%)						6.69%
Percentil 5%						20849.50
Valor característico (MPa)						19761.65

FUENTE: Elaborado por el autor.

Si realizamos la comparación de los datos del MOE_A y del MOE_g , podemos detectar una variación de 3000 MPa aproximadamente, lo cual indica que se encuentran relativamente cerca, confirmando la premisa de que, a pesar de la reducción del valor característico en el método analítico, continúan dentro de los valores de diseño asumidos de las maderas estructurales selectas ES1.

4.12 Comparación de los resultados obtenidos frente a los resultados de pino radiata

Como fin último de esta investigación, es poder comprobar la utilidad y la resistencia de este elemento compuesto el cual parte de la utilización de pino radiata (*Pinus Radiata*) como uno de sus elementos fundamentales para reforzar las maderas recicladas, y así configurar una viga con altas prestaciones a bajo costo; por esto se realiza la comparación de las resistencias entre el material natural y las resistencias encontradas durante los ensayos y el análisis de los mismo.

4.12.1 Esfuerzo máximo de la fibra en el límite proporcional S_{f_t} (Tensión)

Tabla 4-16: Esfuerzo máximo de la fibra en el límite proporcional a tensión

Esfuerzo fibra en el limite proporcional S_{f_t}				
Probeta	m_{ip} (N*mm)	c (mm)	I_{ST} (mm ⁴)	St_c (MPa)
S1A	4103397.01	90.00	12363287.77	29.87
S1B	4403403.88	90.00	11745554.32	33.74
S2A	4614270.58	90.00	11564494.52	35.91
S2B	2421579.45	90.00	11000013.96	19.81
S3A	2806048.23	90.00	10787002.42	23.41
S3B	3997018.79	90.00	10936110.49	32.89
S4A	2819714.24	90.00	10872207.03	23.34
S4B	3571367.63	90.00	11415386.45	28.16
S5A	3744163.10	90.00	11671000.29	28.87
S5B	4251303.30	90.00	11671000.29	32.78
S6A	4207562.86	90.00	10957411.65	34.56
S6B	2342763.70	90.00	11181073.76	18.86
Esfuerzo ultimo promedio (MPa)=				28.52
Desviación estandar S (MPa)				5.87617
Datos atipicos - criterio de Chauvenet				
K (para n=12 datos)				2.03
Minimo aceptable				16.59
Maximo aceptable				40.45
Coeficiente de variación (%)				20.61%
Percentil 5%				19.383
Valor característico (MPa)				16.27

Fuente: Elaborado por el autor

En esta tabla podemos apreciar que el valor característico S_{f_t} de nuestro elemento compuesto es 16.27 MPa y según la literatura revisada, el valor característico está en

13.20 MPa , indicando que la resistencia es mayor en el elemento compuesto principalmente por lo que las piezas están unidas por medio del adhesivo, en donde la línea de cola nos proporciona más resistencia durante la prueba de las propiedades mecánicas.

4.12.2 Módulo de elasticidad

Tabla 4-17: Módulo de elasticidad MOE

Módulo de Elasticidad Método Analítico (MOE _A)					
Probeta	P _{ip} (N)	a(mm)	I _{ST} (mm ⁴)	Δ _{ip} (mm)	MOE _A (MPa)
S1A	8730.63	940.00	12363287.77	17.95	31314.64
S1B	9368.94	940.00	11745554.32	23.23	29711.03
S2A	9817.60	940.00	11564494.52	27.86	26367.69
S2B	5152.30	940.00	11000013.96	13.98	28989.71
S3A	5970.32	940.00	10787002.42	17.76	26970.45
S3B	8504.30	940.00	10936110.49	28.38	23707.77
S4A	5999.39	940.00	10872207.03	19.39	24622.17
S4B	7598.65	940.00	11415386.45	20.36	28290.76
S5A	7966.30	940.00	11671000.29	23.03	25646.25
S5B	9045.33	940.00	11671000.29	23.84	28128.10
S6A	8952.26	940.00	10957411.65	27.24	25951.47
S6B	4984.60	940.00	11181073.76	14.09	27382.42
Esfuerzo ultimo promedio (MPa)=					27256.87
Desviación estandar S (MPa)					2175.138
Datos atipicos - criterio de Chauvenet					
K (para n=12 datos)					2.03
Mínimo aceptable					22841.34
Máximo aceptable					31672.40
Coeficiente de variación (%)					7.98%
Percentil 5%					24210.69
Valor característico (MPa)					22704.81

Fuente: Elaborado por el autor

En esta tabla podemos apreciar que el valor característico MOE es 22.704 MPa y según la literatura revisada, el valor característico está en 11.000 MPa, con este sistema propuesto se aumenta el MOE de los elementos, por lo tanto tienen mayor rigidez, por esto, en la misma condición de esfuerzos, se deforma menos.

5. Discusión

Como parte de las investigaciones realizadas en la Universidad Nacional de Colombia surgen productos innovadores, que aportan a solventar las necesidades de la sociedad. La maestría en construcción enfoca la transferencia del conocimiento hacia la innovación de elementos, sistemas y materiales para el sector de la construcción, que contribuyan a tecnificar los sistemas tradicionales y que estén al alcance de todos, permitiendo mejorar la calidad de vida de las personas en el país.

Desde esta perspectiva el sistema que se desarrolló en esta tesis de maestría tuvo como premisa principal ser un sistema eficiente, versátil, adaptativo y económico, que permita ser replicado en cualquier parte del país para solventar la crisis actual de vivienda por la que se está pasando, en donde el m² está en constante aumento, causando que personas y familias no puedan adquirir una vivienda digna y continúen viviendo en espacios construidos con malas prácticas y con materiales no idóneos que ante cualquier evento natural no pueda salvaguardar a estas personas.

Una de las principales características de este sistema es la velocidad con la que puede ser conformado gracias a que algunas de sus piezas ya han pasado por un proceso industrial, pueden ser adquiridos a bajo costo y a gran escala, además las piezas que conforman el alma de estos elementos, provienen de edificaciones que han sido deconstruidas o demolidas, las cuales pasan por una serie de etapas de maquinado y quedan preparados para ser encolados, ensamblados y prensados, con esto, se conforma un elemento estructural listo para ser utilizado a los 6 días desde su fabricación.

Adicionalmente otra de las ventajas es su versatilidad y carácter responsable con el medio ambiente, ya que permite realizar secciones compuestas partiendo de desechos

de otras edificaciones, reduciendo así el consumo de madera aserrada y por ende la huella de carbono del proceso de producción, aunque si analizamos las partes y sustancias que conforman el elemento observamos que el adhesivo utilizado para el encolado la Melamina Urea Formaldehido (MUF 1242) y su correspondiente catalizador, va en contra posición de estas premisas, aunque cual sea el producto utilizado para encolar los elementos conlleva un proceso industrial altamente contaminante en cualquiera de sus etapas, pero por eso mismo se buscan diferentes maneras de reducir ese impacto; otra forma de reducir ese impacto medio ambiental y en los costos de producción consiste en la utilización de grapas industriales para fijar los elementos de unión, las cuales pueden ser recicladas para ser utilizadas como materia prima en la producción de otros elementos metálicos.

A pesar de su carácter innovador y social, es un sistema que entra a competir en desventaja con los sistemas tradicionales de construcción, principalmente por la concepción de seguridad que tienen las personas en cuanto al material que se usa para edificar su vivienda, en Colombia son altamente utilizados el concreto y el ladrillo ya que son los sistemas más investigados en el país y que cuentan con una normativa muy completa; cosa diferente sucede con la madera, ya que estos sistemas no cuentan con una normativa muy bien desarrollada, que están condicionadas a la responsabilidad de los arquitectos o constructores que los utilizan, partiendo de su experiencia para realizar las diferentes propuestas y las investigaciones realizadas se están quedando en el papel y no trascienden en el sector.

Adicionalmente otra desventaja de este sistema han sido las fallas frágiles que se obtuvieron en los diferentes ensayos, lo cual perjudica los valores asumidos para diseño estructural ya que deben estar muy por debajo del límite proporcional con el fin de evitar la falla súbita del elemento, además en algunas de las vigas se dificultó el proceso de montaje previo al prensado, iniciando por la curvatura inducida del pino después del proceso de maquinado, también porque no es posible controlar de manera efectiva que el centro del alma coincida con el centro del patín y además la velocidad de fraguado del adhesivo no permite tener un mayor rango de manejo para controlar mejor el proceso.

Durante los ensayos y el análisis de los resultados, se encontró que estas secciones compuestas de maderas están dentro del grupo de las maderas estructurales

seleccionadas ES3 que contempla la NSR-10 debido a que los valores de diseño asumido están por encima de los 20000 MPa permitiendo que sean altamente seleccionadas, además de ello se analizó que los ensambles propuestos permitieron evaluar cuales son los más idóneos y cuáles deben ser evitados. En este caso la cantidad de piezas que se realizaron solo nos permite visualizar que entre menos piezas se utilicen, mayor es la resistencia del elemento, en este caso las probetas S1A Y S1B fueron las más estables del proceso.

Esta investigación abre el camino de la reutilización de maderas en sistemas estructurales unidos, no solo en las etapas experimentales, en la investigación, en la industria y en fomentar la deconstrucción de las edificaciones para reutilizar sus materiales y reducir así, en cierta medida, la producción de materiales con materias primas vírgenes.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Del análisis de los resultados obtenidos en los ensayos a flexión de los elementos, se puede concluir de manera general que pueden ser utilizadas como elementos principales de primer nivel en las edificaciones con sistemas estructurales en madera, adicionalmente, el proceso industrial para su fabricación no necesita de máquinas de última tecnología y la versatilidad con la que pueden ser producidas, permiten que sean realizadas de forma eficiente y por cualquier persona con los conocimientos básicos de estructuras, para responder en caso de eventos catastróficos o para resolver las necesidades básicas de vivienda para cualquier persona.

Se apreció en todos los elementos que la falla principal fue por la ruptura de las fibras del patín inferior de Pino Radiata, debido al esfuerzo de tracción inducido por la carga y por la resistencia del adhesivo, las fallas fueron frágiles y fueron focalizadas tanto en el centro de la luz, como en los tercios inferiores de la viga y en todos los casos se indujo un cortante transversal que afectó a los elementos de unión, infiriendo que la disposición de las fibras de estos elementos no fue la más indicada ya que fueron ubicados solo pensando en el proceso industrial del armado y no en soportar alguna carga o reacción del ensayo. En algunos casos hubo un desprendimiento por la línea de cola en donde el adhesivo no fue aplicado uniformemente o de la manera indicada, por esto se debe prestar atención al maquinado y control de calidad del proceso de aplicación, ya que esto reduce la resistencia en conjunto del elemento, principalmente por que las piezas internas de las vigas no transmiten ningún esfuerzo y se observa un desplazamiento que induce un esfuerzo de corte en la línea de cola y en las láminas de Pino Radiata.

Adicionalmente se observó que, entre menos piezas sean utilizadas en el alma, mayor es la resistencia del elemento, por esto la configuración más adecuada para la conformación

de las vigas se obtiene con solo 2 uniones (S1A y S1B), debido a que los datos analizados son los más cercanos y confiables entre los prototipos, y la configuración menos adecuada se obtiene con cinco uniones (S4A y S4B), por la alta dispersión entre los datos obtenidos en los ensayos entre los prototipos.

Se evidenció que ninguna de las piezas internas realizadas con maderas recicladas, sufrieron algún daño físico o químico en cada uno de los ensambles propuestos, lo cual nos permitirá reutilizar estas maderas para que hagan parte de otros elementos estructurales después de un proceso de maquinado para retirar el adhesivo, las grapas metálicas y las láminas de Pino Radiata, lo cual permite incentivar desde el sector industrial los procesos de deconstrucción en las edificaciones y abrir un camino tanto de investigaciones como de soluciones técnicas en el país.

Adicionalmente al realizar la comparación de los datos del MOE_A y del MOE_g , se detectó una variación de 3000 MPa aproximadamente, lo cual indicó que la dispersión de los datos es baja, no hay datos atípicos y están dentro del criterio de Chauvenet, lo cual nos permite observar que los valores de diseño asumidos, a pesar de la reducción del valor característico en el método analítico, continúan dentro de los valores de diseño asumidos de las maderas estructurales selectas ES3, lo cual nos indica que utilizando una madera del grupo de madera selecta ES6 se puede obtener una mejora sustancial en la resistencia del material al ser utilizado en un sistema compuesto. .

6.2 Recomendaciones

Se recomienda que para próximas investigaciones se realice un proceso industrial más tecnificado en cuanto a el control de las diversas desviaciones que tuvieron los patines durante el proceso de prensado, ya que en algunos casos al quedar descentrado las cargas no eran transmitidas eficientemente, provocando las fallas que presenciamos fuese en los elementos de unión, los cuales estuvieron sometidos a resistir el cortante transversal por el desplazamiento de las piezas internas en las vigas ya que los únicos elementos que podían contrastar eran esos elementos, pero las fibras de estos se encontraban en la dirección que menos resisten ante el cortante. Por esto mismo se

recomienda invertir la dirección de las fibras de estos elementos para controlar el cortante transversal que se produce hacia el centro de la viga.

Además, es importante realizar la caracterización de todas las especies maderables en el país, ya que esto permite conocer el estado de vulnerabilidad en el que se encuentran para poder buscar alternativas en cuanto a la explotación y en el uso de maderas que puedan ser recicladas, como en el caso de esta investigación, ya que algunas de las maderas utilizadas en esta tesis se encontraban en estados medio-avanzados de peligro, asimismo, el proceso de reurbanización de viviendas que conllevan a la demolición de viejas edificaciones puede dar a lugar de piezas de madera que provienen de especies ya extintas o en alto peligro de extinción que puedan llegar a ser conservadas para generar diversos procesos de concientización, reforestación y reutilización en elementos estructurales como los realizados en esta investigación.

Finalmente, se podría evaluar la reutilización de las piezas de madera que hicieron parte de esta investigación, ya que no sufrieron ninguna afectación mecánica aparente y visible, contribuyendo así a la filosofía primaria de este trabajo investigativo, el cual consiste en la reutilización de elementos resultante de la deconstrucción de edificaciones y de elementos estructurales, con el fin de evaluar si las piezas pueden volver a soportar solicitaciones de carga iguales o superiores o si debido a sus continuos procesos de uso han perdido resistencia y deben ser unidos de otras maneras, además, realizar la investigación con maderas reforestadas en Colombia ya que esto permitiría generar un producto 100% colombiano y permitiría conocer las propiedades mecánicas de los elementos compuestos.

Bibliografía

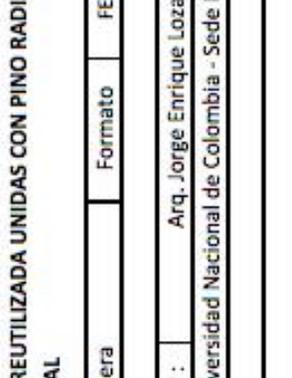
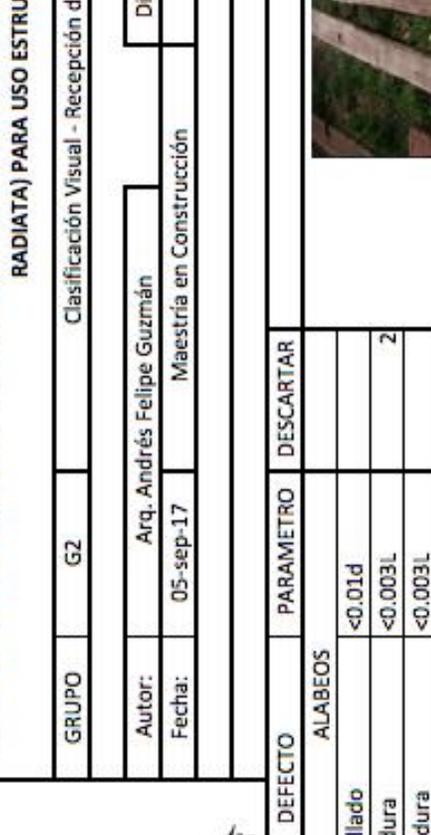
- Aenor. (1995). Madera laminada encolada, especificaciones y requisitos de fabricación.
- Aenor. (2005). *Adhesivos para madera de uso estructural. UNE-EN 302-4.*
- AITIM. (1997). Madera laminada encolado de uniones dentadas.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). NSR-10, Título G Norma Sísmoresistente Colombiana, 168.
- B. Endicott, A. Fiato, S. Foster, T. Huang, P. T. (2007). Final Project Report - Research on Building Deconstruction. *University of California, Berkeley Department of Civil and Environmental Engineering Engineering and Project Management*, 2(March), 1–47.
- Barrera, J. A. (2011). La Madera Laminada: Una Alternativa Estructural y Ambiental. *Revista M&M*, 70, 10–17.
- Barreto, J. (2013). *Estudio de propiedades físico mecánicas (corte y flexión) de la especie de madera tropical teca (tectona grandis) en el sistema de laminado pegado estructura.* Universidad Nacional de Colombia.
- Barreto Castañeda, J. S. (2013). Estudio de propiedades físico mecánicas (corte y flexión) de la especie de madera tropical teca (tectona grandis) en el sistema de laminado pegado estructural. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/9476/#sthash.lubV1gk6.dpuf>
- Bergman, R. D., Gu, H., Falk, R. H., & Napier, T. R. (2010). Using Reclaimed Lumber and Wood Flooring in Construction: Measuring Environmental Impact Using Life-Cycle Inventory Analysis. *Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee*, 1–11. Retrieved from http://128.104.77.228/documnts/pdf2010/fpl_2010_bergman002.pdf
- Carmona, R., Espinoza, F., & Bull, C. (1998). Influencia de la densidad de la madera en la encolabilidad de pino radiata D. Don. *Revista Ciencias Forestales*, 97–98.

- Chini, A., & Bruening, S. (2004). Deconstruction and Materials Reuse, An International Overview. Final Report of Task Group 39 on Deconstruction. *CIB Publication*. University of Florida.
- Contreras, W., Valero, S. W., Thomson, E., Owen de C, M. E., & Barrios, E. (2007). Determination of stress parameters of glued-laminated timber of caribbean pine (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*) glued with isocyanate-based adhesives (MDI). *Maderas-Ciencia Y Tecnologia*, 9(3), 285–298.
- CSCAE. (2011). Madera Laminada Encolada, 1, 322–333.
- Davison, B., & Tingley, D. D. (2011). Design for deconstruction and material reuse. *Proceedings of the ICE - Energy*, 164(4), 195–204. <https://doi.org/10.1680/ener.2011.164.4.195>
- Fernandez-Golfin Seco, J., Diez Barra, R., & Hermoso Prieto, E. (1995). Normas aplicables a las estructuras de madera laminada encolada, 4.
- Fernández, M. P., Norero, A., Vera, J. R., & Pérez, E. (2011). A functional structural model for radiata pine (*Pinus radiata*) focusing on tree architecture and wood quality. *Annals of Botany*, 108(6), 1155–1178. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr156>
- Fraanje, P. (1998). Renewable resources for building materials.
- Goverse, T., Hekkert, M. P., Groenewegen, P., Worrell, E., & Smits, R. E. H. M. (2001). Wood innovation in the residential construction sector; opportunities and constraints. *Resources, Conservation and Recycling*, 34(1), 53–74. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00093-3](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00093-3)
- Guy, B., & Ciarimboli, N. (2006). Design for Disassembly in the built environment. Retrieved from http://your.kingcounty.gov/solidwaste/greenbuilding/documents/Design_for_Disassembly-guide.pdf
- Hermoso, E., Carballo, J., & Fernandez-Golfin, J. I. (2007). Structural characterization of *Pinus radiata* D. Don timber from Pais Vasco (Spain) according to standard modifications. *Maderas: Ciencia Y Tecnologia*, 9(3), 223–232.
- Hoheisel, H. (1998). Principios básicos de encolado uniones de dentadura. Seminario aplicaciones estructurales de la madera: cercha, vigas laminadas y conectores., 1.
- ICONTEC. (1997). NTC 2500 INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA USO DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN.
- ICONTEC. (2004). NTC 5279 Metodo de ensayos estaticos para maderas en tamaños estructurales, 48.

- Junta del acuerdo de Cartagena. (1982). Manual de diseño para maderas del Grupo andino.
- Kibert, C. J., Chini, A. R., & Languell, J. (2001). Deconstruction As an Essential Component of Sustainable Construction. *CIB World Building Congress*, (April), 1–11.
- Kránitz, K., Sonderegger, W., Bues, C. T., & Niemz, P. (2016). Effects of aging on wood: a literature review. *Wood Science and Technology*, 50(1), 7–22. <https://doi.org/10.1007/s00226-015-0766-0>
- NCh, & INN. (2006). Madera Laminada estructural - Requisitos e inspección. NCh 2148.
- Pérez Galaz, V. A. (1992). *Manual de Madera Laminada* (Vol. 2). Santiago de Chile: Instituto Forestal de Chile.
- Quevedo, V. (2000). Adherencia y adhesivos para madera. Seminario materiales de nueva generación y materiales eficientes.
- Stürzenbecher, R., Hofstetter, K., & Eberhardsteiner, J. (2010). Structural design of Cross Laminated Timber (CLT) by advanced plate theories. *Composites Science and Technology*, 70(9), 1368–1379. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.04.016>
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2008). Lifecycle Construction Resource Guide. *Construction*, 72.
- Vega, M., & Aguilera, A. (2007). De Pino Radiata Y Su Relacion Con Emision Acustica Cutting Forces and Surface Roughness in Radiata Pine Routing and Its Relationship With Acoustic Emission. *Maderas. Ciencia Y Tecnologia*, 9(2), 161–169.
- West Michigan Shoreline Regional Development Commission. (2017). *Michigan Deconstruction Economic Cluster Feasibility Study*.
- Zabusova, D. (2014). *Design for Deconstruction*. Horsens.

Anexo A: Formato Clasificación Visual - Recepción

		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL		
GRUPO	G1	Clasificación Visual - Recepción de madera	Formato	FEDTM-VT-1A
Autor:	Arg. Andrés Felipe Guzmán	Director :	Arg. Jorge Enrique Lozano	
Fecha:	05-sep-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
DEFECTO				
ALABEOS		PARAMETRO	DESCARTAR	FOTOGRAFÍAS 
1	Abarquillado	<0.01d		
	Arqueadura	<0.003L		
	Encorvadura	<0.003L		
	Torcedura	<0.003L		
2	ARISTA FALTANTE (una sola cara)	Max. 0.25d	4	
3	DURAMEN QUEBRADIZO	NO		
4	ESCAMADURAS (una sola cara)	<0.1b <0.25b	6	
5	FALLA DE COMPRESIÓN	NO		
6	GRANO INCLINADO	MAX. 1:8		
7	GRIETA SUPERFICIAL	SUMA<0.25b	5	
8	MEDULLA	NO		
9	PUDRICIÓN	NO	3	
10	RAJADURAS	Long max = b		
11	MANCHAS	NO		
12	NUDOS ARRACIMADOS	NO		
13	DIMENSIONES MINIMAS	<0.18m		
Observaciones Generales:				Numeración de izquierda a derecha, 6 elementos para este grupo

		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
GRUPO	G2	Clasificación Visual - Recepción de madera	Formato	FEDTM VT-1A	
Autor:		Arq. Andrés Felipe Guzmán	Director : Arq. Jorge Enrique Lozano		
Fecha:		05-sep-17	Maestría en Construcción Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá		
	DEFECTO	PARAMETRO	DESCARTAR	FOTOGRAFÍAS	
	ALABEOS				
1	Abarquillado	<0.01d			
	Arqueadura	<0.003L	2		
	Encorvadura	<0.003L			
	Torcedura	<0.003L			
2	ARISTA FALTANTE (una sola cara)	Max. 0.25d Max. 0.25L	3		
3	DURAMEN QUEBRADIZO	NO			
4	ESCAMADURAS (una sola cara)	<0.1b <0.25b	4		
5	FALLA DE COMPRESIÓN	NO			
6	GRANO INCLINADO	MAX. 1:8			
7	GRIETA SUPERFICIAL	SUMA<0.25b	2		
8	MEDULA	NO			
9	PUDRICIÓN	NO			
10	RAJADURAS	Long max = b			
11	MANCHAS	NO			
12	NUDOS ARRACIMADOS	NO	4		
13	DIMENSIONES MINIMAS	<0.18m			
Observaciones Generales:					Numeración de izquierda a derecha, 4 elementos para este grupo

			
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
GRUPO	G3	Clasificación Visual - Recepción de madera	Formato FEDTM VT-1A
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán	Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
Fecha:	05-sep-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
DEFECTO			
ALABEOS		PARAMETRO	DESCARTAR
1	Abarquillado	<0.01d	
	Arqueadura	<0.003L	
	Encorvadura	<0.003L	
	Torcedura	<0.003L	
2	ARISTA FALTANTE (una sola cara)	Max. 0.25d	
3	DURAMEN QUEBRADIZO	NO	
4	ESCAMADURAS (una sola cara)	<0.1b <0.25b	
5	FALLA DE COMPRESIÓN	NO	
6	GRANO INCLINADO	MAX. 1:8	
7	GRIETA SUPERFICIAL	SUMA<0.25b	3
8	MEDULA	NO	
9	PUDRICIÓN	NO	2
10	RAJADURAS	Long max = b	
11	MANCHAS	NO	
12	NUDOS ARRACIMADOS	NO	
13	DIMENSIONES MINIMAS	<0.18m	
FOTOGRAFÍAS			
			
Observaciones Generales:			
Numeración de izquierda a derecha, 4 elementos para este grupo			

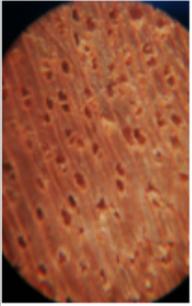
		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL																																																											
GRUPO	G4	Clasificación Visual - Recepción de madera	Formato	FEDTM VT-1A																																																									
Autor:		Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :																																																									
Fecha:		05-sep-17		Arq. Jorge Enrique Lozano																																																									
		Maestría en Construcción		Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																																									
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">DEFECTO</th> <th style="width: 30%;">PARAMETRO</th> <th style="width: 10%;">DESCARTAR</th> <th style="width: 50%;">FOTOGRAFIAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">ALABEOS</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Abarquillado</td> <td style="text-align: center;"><0.01d</td> <td rowspan="13" style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td></td> <td>Arqueadura</td> <td style="text-align: center;"><0.003L</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Encorvadura</td> <td style="text-align: center;"><0.003L</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Torcedura</td> <td style="text-align: center;"><0.003L</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>ARISTA FALTANTE (una sola cara)</td> <td style="text-align: center;">Max. 0.25d Max. 0.25L</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>DURAMEN QUEBRADIZO</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td>ESCAMADURAS (una sola cara)</td> <td style="text-align: center;"><0.1b <0.25b</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td>FALLA DE COMPRESIÓN</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td>GRANO INCLINADO</td> <td style="text-align: center;">MAX. 1:8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">7</td> <td>GRIETA SUPERFICIAL</td> <td style="text-align: center;">SUMA<0.25b</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8</td> <td>MEDULA</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9</td> <td>PUDRICIÓN</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">10</td> <td>RAJADURAS</td> <td style="text-align: center;">Long max = b</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">11</td> <td>MANCHAS</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">12</td> <td>NUDOS ARRACIMADOS</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">13</td> <td>DIMENSIONES MINIMAS</td> <td style="text-align: center;"><0.18m</td> </tr> </tbody> </table>					DEFECTO	PARAMETRO	DESCARTAR	FOTOGRAFIAS	ALABEOS				1	Abarquillado	<0.01d			Arqueadura	<0.003L		Encorvadura	<0.003L		Torcedura	<0.003L	2	ARISTA FALTANTE (una sola cara)	Max. 0.25d Max. 0.25L	3	DURAMEN QUEBRADIZO	NO	4	ESCAMADURAS (una sola cara)	<0.1b <0.25b	5	FALLA DE COMPRESIÓN	NO	6	GRANO INCLINADO	MAX. 1:8	7	GRIETA SUPERFICIAL	SUMA<0.25b	8	MEDULA	NO	9	PUDRICIÓN	NO	10	RAJADURAS	Long max = b	11	MANCHAS	NO	12	NUDOS ARRACIMADOS	NO	13	DIMENSIONES MINIMAS	<0.18m
DEFECTO	PARAMETRO	DESCARTAR	FOTOGRAFIAS																																																										
ALABEOS																																																													
1	Abarquillado	<0.01d																																																											
	Arqueadura	<0.003L																																																											
	Encorvadura	<0.003L																																																											
	Torcedura	<0.003L																																																											
2	ARISTA FALTANTE (una sola cara)	Max. 0.25d Max. 0.25L																																																											
3	DURAMEN QUEBRADIZO	NO																																																											
4	ESCAMADURAS (una sola cara)	<0.1b <0.25b																																																											
5	FALLA DE COMPRESIÓN	NO																																																											
6	GRANO INCLINADO	MAX. 1:8																																																											
7	GRIETA SUPERFICIAL	SUMA<0.25b																																																											
8	MEDULA	NO																																																											
9	PUDRICIÓN	NO																																																											
10	RAJADURAS	Long max = b																																																											
11	MANCHAS	NO																																																											
12	NUDOS ARRACIMADOS	NO																																																											
13	DIMENSIONES MINIMAS	<0.18m																																																											
Observaciones Generales:																																																													
Numeración de izquierda a derecha, 3 elementos para este grupo																																																													

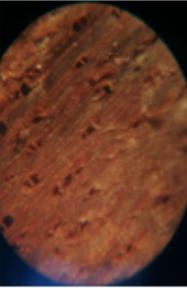
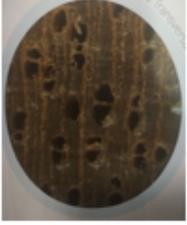
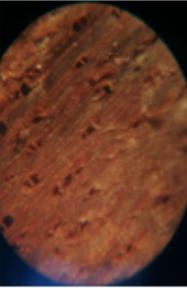
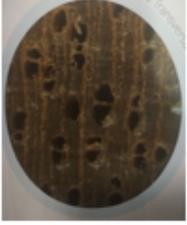
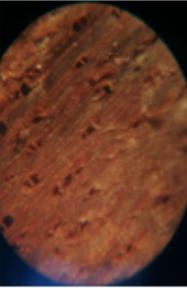
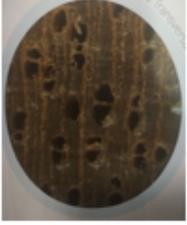
			
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
GRUPO	G5	Clasificación Visual - Recepción de madera	Formato
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :
Fecha:	05-sep-17	Maestría en Construcción	Arq. Jorge Enrique Lozano
			Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
DEFECTO	PARAMETRO	DESCARTAR	FOTOGRAFIAS
ALABEOS			
1	Abarquillado	<0.01d	
	Arqueadura	<0.003L	
	Encorvadura	<0.003L	
	Torcedura	<0.003L	
2	ARISTA FALTANTE (una sola cara)	Max. 0.25d Max. 0.25L	
3	DURAMEN QUEBRADIZO	NO	
4	ESCAMADURAS (una sola cara)	<0.1b <0.25b	
5	FALLA DE COMPRESIÓN	NO	
6	GRANO INCLINADO	MAX. 1:8	
7	GRIETA SUPERFICIAL	SUMA<0.25b	
8	MEDULA	NO	
9	PUDRICIÓN	NO	
10	RAJADURAS	Long max = b	
11	MANCHAS	NO	
12	NUDOS ARRACIMADOS	NO	
13	DIMENSIONES MINIMAS	<0.18m	1
Observaciones Generales:			
Numeración de izquierda a derecha, 3 elementos para este grupo			

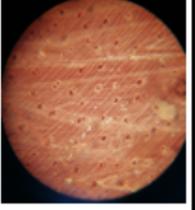
		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL																																																											
GRUPO	G6	Clasificación Visual - Recepción de madera	Formato	FEDTM VI-1A																																																									
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán	Director :		Arq. Jorge Enrique Lozano																																																									
Fecha:	05-sep-17	Maestría en Construcción		Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">DEFECTO</th> <th style="width: 25%;">PARAMETRO</th> <th style="width: 25%;">DESCARTAR</th> <th style="width: 35%;">FOTOGRAFÍAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">ALABEOS</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Abarquillado</td> <td><0.01d</td> <td rowspan="13" style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Arqueadura</td> <td><0.003L</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Encorvadura</td> <td><0.003L</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Torcedura</td> <td><0.003L</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>ARISTA FALTANTE (una sola cara)</td> <td>Max. 0.25d Max. 0.25L</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>DURAMEN QUEBRADIZO</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>ESCAMADURAS (una sola cara)</td> <td><0.1b <0.25b</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>FALLA DE COMPRESIÓN</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>GRANO INCLINADO</td> <td>MAX. 1:8</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>GRIETA SUPERFICIAL</td> <td>SUMA<0.25b</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>MEDULLA</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>PUDRICIÓN</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>RAJADURAS</td> <td>Long max = b</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>MANCHAS</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>NUDOS ARRACIMADOS</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>DIMENSIONES MINIMAS</td> <td><0.18m</td> </tr> </tbody> </table>					DEFECTO	PARAMETRO	DESCARTAR	FOTOGRAFÍAS	ALABEOS				1	Abarquillado	<0.01d		2	Arqueadura	<0.003L	3	Encorvadura	<0.003L	4	Torcedura	<0.003L	5	ARISTA FALTANTE (una sola cara)	Max. 0.25d Max. 0.25L	6	DURAMEN QUEBRADIZO	NO	7	ESCAMADURAS (una sola cara)	<0.1b <0.25b	8	FALLA DE COMPRESIÓN	NO	9	GRANO INCLINADO	MAX. 1:8	10	GRIETA SUPERFICIAL	SUMA<0.25b	11	MEDULLA	NO	12	PUDRICIÓN	NO	13	RAJADURAS	Long max = b	14	MANCHAS	NO	15	NUDOS ARRACIMADOS	NO	16	DIMENSIONES MINIMAS	<0.18m
DEFECTO	PARAMETRO	DESCARTAR	FOTOGRAFÍAS																																																										
ALABEOS																																																													
1	Abarquillado	<0.01d																																																											
2	Arqueadura	<0.003L																																																											
3	Encorvadura	<0.003L																																																											
4	Torcedura	<0.003L																																																											
5	ARISTA FALTANTE (una sola cara)	Max. 0.25d Max. 0.25L																																																											
6	DURAMEN QUEBRADIZO	NO																																																											
7	ESCAMADURAS (una sola cara)	<0.1b <0.25b																																																											
8	FALLA DE COMPRESIÓN	NO																																																											
9	GRANO INCLINADO	MAX. 1:8																																																											
10	GRIETA SUPERFICIAL	SUMA<0.25b																																																											
11	MEDULLA	NO																																																											
12	PUDRICIÓN	NO																																																											
13	RAJADURAS	Long max = b																																																											
14	MANCHAS	NO																																																											
15	NUDOS ARRACIMADOS	NO																																																											
16	DIMENSIONES MINIMAS	<0.18m																																																											
Observaciones Generales:																																																													
Numeración de izquierda a derecha, 5 elementos para este grupo																																																													

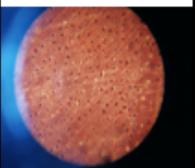
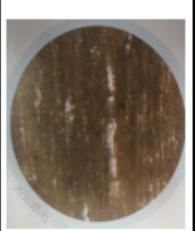
Anexo B: Formato Caracterización Macroscópica

Número	Especie	Nombres comunes
MT-1	<i>Otoba lehmanni</i>	Cuangularé, otobo
MT-4	<i>Osteosphloemumplatyspermum</i>	Sangretoro
MT-6	<i>Anibasp</i> o <i>Ocotea</i>	Laurel, comino
MT-7	<i>Eucalyptusglobulus</i>	Eucalipto
MT-8	<i>Ocoteasp</i> o <i>Anibasp</i>	Laurel, comino
MT-9	<i>Nectandra</i>	Amarillo
MT-11	<i>Coumamacrocarpa</i>	Perillo

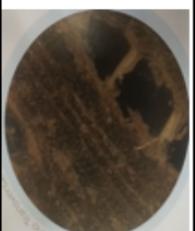
			
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
Madera Tipo	1	CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA	Formato FCM-MT-1
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán	Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
Fecha:	30-oct-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
MADERA TIPO 1			
NOMBRE COMÚN	Cuángare, Otoño, Castaño, Nuñamo	PROPIEDADES FÍSICAS	
SINONIMOS	Dialyanthera lehmannii	DENSIDAD BÁSICA (g/cm ³)	0.5
NOMBRE CIENTÍFICO	Otoba Lehmannii	CONTRACCIÓN RADIAL %	5.7
FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA		CONTRACCIÓN TANGENCIAL %	8.7
		CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA %	13.9
		RELACION CT/CR	1.5
CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS		PROPIEDADES MECANICAS	
COLOR	Amarillo Rojizo (7.5VR 7/6), sin diferencia entre albura y duramen	MODULO DE RUPTURA kg/cm ²	1208
VETADO	Lineas Vasculares	MODULO DE ELASTICIDAD t/cm ²	157
OLOR	No distintivo	COMPRESION PARALELA kg/cm ²	687
LUSTRE	Mate	COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm ²	57
		DUREZA EN LOS LADOS kg	390
		TENACIDAD kg·m	2.11
CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS			
PLANO TRANSVERSAL GENERAL		PLANO TANGENCIAL	
			
ANILLOS DE CRECIMIENTO		PLANO TRANSVERSAL DETALLE	
VASOS	Poros visibles con aumento de 10X predominantemente múltiples de 2-3 poros con		
PARENQUIMA AXIAL	Indistinto o ausente	OTRAS ESTRUCTURAS	
PARENQUIMA RADIAL	Visible con aumento de 10X en el plano transversal. Estratificación ausente	Ausente	
OTRAS ESTRUCTURAS	Indistintos o ausentes		

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL																													
Madera Tipo	4	Formato	FCM MT-1																										
Autor: Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director: Arq. Jorge Enrique Lozano																											
Fecha: 30-oct-17		Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																											
MADERA TIPO 1																													
<table border="1"> <tr> <td>NOMBRE COMÚN</td> <td>Sangretoro, sangre de toro, cuángare</td> </tr> <tr> <td>SINONIMOS</td> <td>Virola Sebifera Aubl.</td> </tr> <tr> <td>NOMBRE CIENTIFICO</td> <td>Osteosphloeumplatyspermum</td> </tr> <tr> <td colspan="2">FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">  </td> </tr> </table>				NOMBRE COMÚN	Sangretoro, sangre de toro, cuángare	SINONIMOS	Virola Sebifera Aubl.	NOMBRE CIENTIFICO	Osteosphloeumplatyspermum	FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA																			
NOMBRE COMÚN	Sangretoro, sangre de toro, cuángare																												
SINONIMOS	Virola Sebifera Aubl.																												
NOMBRE CIENTIFICO	Osteosphloeumplatyspermum																												
FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA																													
																													
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">PROPIEDADES FISICAS</td> </tr> <tr> <td>DENSIDAD BASICA (g/cm3)</td> <td>0.37</td> </tr> <tr> <td>CONTRACCION RADIAL %</td> <td>4.5</td> </tr> <tr> <td>CONTRACCION TANGENCIAL %</td> <td>11.5</td> </tr> <tr> <td>CONTRACCION VOLUMETRICA %</td> <td>15.5</td> </tr> <tr> <td>RELACION CT/CR</td> <td>2.7</td> </tr> <tr> <td colspan="2">PROPIEDADES MECANICAS</td> </tr> <tr> <td>MODULO DE RUPTURA kg/cm2</td> <td>624</td> </tr> <tr> <td>MODULO DE ELASTICIDAD 1/cm2</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>COMPRESION PARALELA kg/cm2</td> <td>354</td> </tr> <tr> <td>COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>DUREZA EN LOS LADOS kg</td> <td>216</td> </tr> <tr> <td>TENACIDAD kg-m</td> <td>0.61</td> </tr> </table>				PROPIEDADES FISICAS		DENSIDAD BASICA (g/cm3)	0.37	CONTRACCION RADIAL %	4.5	CONTRACCION TANGENCIAL %	11.5	CONTRACCION VOLUMETRICA %	15.5	RELACION CT/CR	2.7	PROPIEDADES MECANICAS		MODULO DE RUPTURA kg/cm2	624	MODULO DE ELASTICIDAD 1/cm2	100	COMPRESION PARALELA kg/cm2	354	COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2	27	DUREZA EN LOS LADOS kg	216	TENACIDAD kg-m	0.61
PROPIEDADES FISICAS																													
DENSIDAD BASICA (g/cm3)	0.37																												
CONTRACCION RADIAL %	4.5																												
CONTRACCION TANGENCIAL %	11.5																												
CONTRACCION VOLUMETRICA %	15.5																												
RELACION CT/CR	2.7																												
PROPIEDADES MECANICAS																													
MODULO DE RUPTURA kg/cm2	624																												
MODULO DE ELASTICIDAD 1/cm2	100																												
COMPRESION PARALELA kg/cm2	354																												
COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2	27																												
DUREZA EN LOS LADOS kg	216																												
TENACIDAD kg-m	0.61																												
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS</td> </tr> <tr> <td>COLOR</td> <td>Albura de color marrón muy pálido (10YR 8/3), con transición gradual al</td> </tr> <tr> <td>VETADO</td> <td>Líneas vasculares</td> </tr> <tr> <td>OLOR</td> <td>No Distintivo</td> </tr> <tr> <td>LUSTRE</td> <td>Brillante</td> </tr> </table>				CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS		COLOR	Albura de color marrón muy pálido (10YR 8/3), con transición gradual al	VETADO	Líneas vasculares	OLOR	No Distintivo	LUSTRE	Brillante																
CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS																													
COLOR	Albura de color marrón muy pálido (10YR 8/3), con transición gradual al																												
VETADO	Líneas vasculares																												
OLOR	No Distintivo																												
LUSTRE	Brillante																												
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS</td> </tr> <tr> <td>PLANO TRANSVERSAL GENERAL</td> <td>  </td> </tr> <tr> <td>PLANO TANGENCIAL</td> <td>  </td> </tr> <tr> <td>PLANO TRANSVERSAL DETALLE</td> <td>  </td> </tr> </table>				CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS		PLANO TRANSVERSAL GENERAL		PLANO TANGENCIAL		PLANO TRANSVERSAL DETALLE																			
CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS																													
PLANO TRANSVERSAL GENERAL																													
PLANO TANGENCIAL																													
PLANO TRANSVERSAL DETALLE																													
ANILLOS DE CRECIMIENTO	Indistintos o ausentes.	VASOS	Visibles a simple vista, múltiples de 2-3 poros con algunos solitarios; porosidad																										
		PARENQUIMA AXIAL	No notorio aún con aumento de 20X																										
		PARENQUIMA RADIAL	Visibles con aumento de 10X en el plano transversal. Estratificación ausente.																										
		OTRAS ESTRUCTURAS	Ausente																										

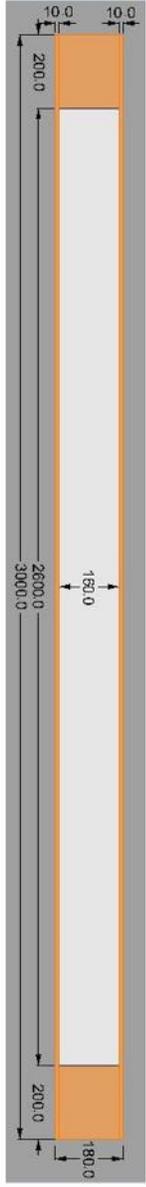
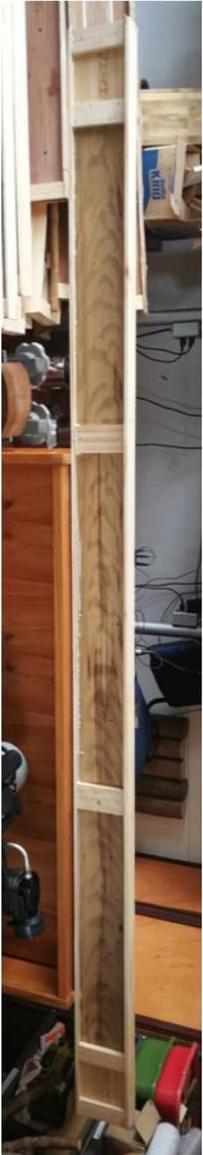
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
Madera Tipo	7	Formato	FCM MT-1
		Director : Arq. Jorge Enrique Lozano Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
Autor: Arq. Andrés Felipe Guzmán Fecha: 30-oct-17 Maestría en Construcción		CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA	
MADERA TIPO 1			
NOMBRE COMÚN	Eucalipto, ocalito, ocalito, ucal, eucalipto común		
SINONIMOS			
NOMBRE CIENTIFICO	Eucalyptus globulus Labill		
FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA			
			
PROPIEDADES FÍSICAS DENSIDAD BASICA (g/cm3) 0.55 CONTRACCION RADIAL % 6.7 CONTRACCION TANGENCIAL % 14.2 CONTRACCION VOLUMETRICA % 19.9 RELACION CT/CR 2.2			
PROPIEDADES MECANICAS MODULO DE RUPTURA kg/cm2 1068 MODULO DE ELASTICIDAD t/cm2 138 COMPRESION PARALELA kg/cm2 470 COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2 80 DUREZA EN LOS LADOS kg 442 TENACIDAD kg-m 3.45			
CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS COLOR Albura de color amarillo rojizo (7.5YR 8/6), con transición gradual al VETADO Líneas vasculares OLOR No Distintivo LUSTRE Brillante			
CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS PLANO TRANSVERSAL GENERAL 			
PLANO TANGENCIAL 			
PLANO TRANSVERSAL DETALLE 			
ANILLOS DE CRECIMIENTO	VASOS	PARENQUIMA AXIAL	PARENQUIMA RADIAL
Visibles a simple vista, definidos por un cambio en el diámetro de las fibras y el	Poros visibles a simple vista, solitarios, rara vez múltiples de 2 poros; porosidad difusa,	Visible a simple vista, vasicentrico confluyente en cadenas de 2 a 5 poros	Visibles con aumento de 10X en el plano transversal. Estratificación ausente.
			Otras Estructuras
			Bolsas de resina

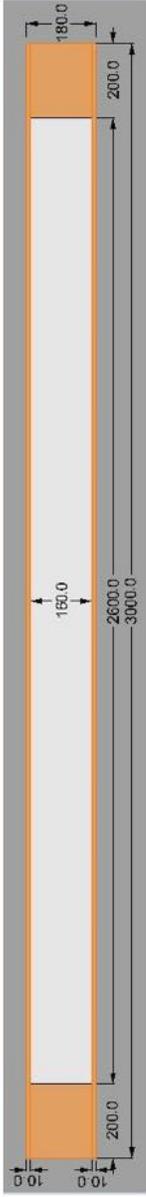
			
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
Madera Tipo	8	CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA	Formato
		FCM MT-1	
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :
Fecha:	30-oct-17	Maestría en Construcción	Arq. Jorge Enrique Lozano
			Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
MADERA TIPO 1			
NOMBRE COMÚN Laurel, jigua, jigua amarillo, jigua negro, aceltuno SINONIMOS Mespliodaphne Nees, Oreodaphne Nees NOMBRE CIENTIFICO Ocotleasp o Anibasp FOTOGRAFIA PIEZA DE MADERA		PROPIEDADES FISICAS DENSIDAD BASICA (g/cm3) 0.65 CONTRACCION RADIAL % 2.45 CONTRACCION TANGENCIAL % 3.87 CONTRACCION VOLUMETRICA % 6.47 RELACION CT/CR 1.58	
		PROPIEDADES MECANICAS MODULO DE RUPTURA kg/cm2 1480 MODULO DE ELASTICIDAD t/cm2 72 COMPRESION PARALELA kg/cm2 769 COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2 154 DUREZA EN LOS LADOS kg 727 TENACIDAD kg-m 1.08	
CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS COLOR Albura de color amarillo (10YR 8/6) con transición gradual al duramen de VETADO Líneas vasculares OLORES No Distintivo LUSTRE Mate			
CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS			
PLANO TRANSVERSAL GENERAL		PLANO TANGENCIAL	
			
ANILLOS DE CRECIMIENTO VASOS Poros visibles a simple vista, solitarios y múltiples de 2-5 poros; porosidad difusa, sin		PARENQUIMA AXIAL Visible con aumento de 10X, de tipo paratraqueal vasicentrico delgado y	
No notorios o ausentes.		PARENQUIMA RADIAL Visibles con aumento de 10X en el plano transversal. Estratificación ausente.	
OTRAS ESTRUCTURAS Ausente		PLANO TRANSVERSAL DETALLE 	

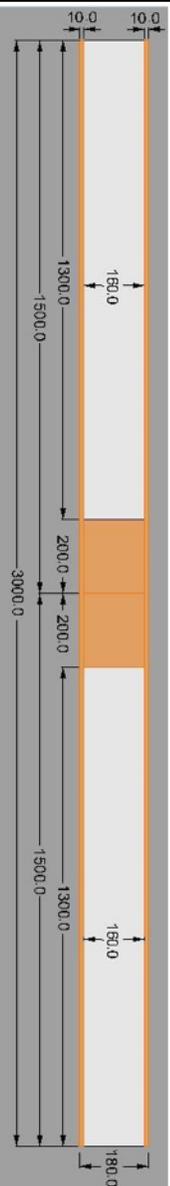
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
Madera Tipo	9	Formato	FCM MT-1
Autor: Arq. Andrés Felipe Guzmán Fecha: 30-oct-17 Maestría en Construcción		Director: Arq. Jorge Enrique Lozano Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
MADERA TIPO 1			
NOMBRE COMÚN Laurel Amarillo SINONIMOS Laurus purpurea Ruiz & Pav, Nectandra polita var. NOMBRE CIENTIFICO Nectandra purpurea (Ruiz & Pav.) Mez FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA 			
PROPIEDADES FISICAS DENSIDAD BASICA (g/cm3) 0.429 CONTRACCION RADIAL % 2.8 CONTRACCION TANGENCIAL % 4.08 CONTRACCION VOLUMETRICA % 5.24 RELACION CT/CR 1.45			
PROPIEDADES MECANICAS MODULO DE RUPTURA kg/cm2 921 MODULO DE ELASTICIDAD t/cm2 124 COMPRESION PARALELA kg/cm2 514 COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2 76 DUREZA EN LOS LADOS kg 337 TENACIDAD kg-m 0.39			
CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS COLOR Amarillo pálido (2.5Y 8/2), sin transición entre albura y duramen VETADO Suave no acentuado OLOR No Distintivo LUSTRE Brillante			
CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS PLANO TRANSVERSAL GENERAL  PLANO TANGENCIAL  PLANO TRANSVERSAL DETALLE 			
ANILLOS DE CRECIMIENTO	VASOS	PARENQUIMA AXIAL	PARENQUIMA RADIAL
Indistintos o ausentes.	Poros visibles con aumento de 10X, predominantemente múltiples de 2-4 poros con	No notorio con aumento de 20X	Visibles con aumento de 10X. Estratificación ausente.
			Ausentes

			
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
Madera Tipo	10	CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA	Formato
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán	Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
Fecha:	30-oct-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
MADERA TIPO 1			
NOMBRE COMÚN	Juansoco, pendrade, perillo, lirio, surba, avichure	PROPIEDADES FÍSICAS	
SINONIMOS		DENSIDAD BASICA (g/cm3)	0.5
NOMBRE CIENTIFICO	Coouma macrocarpa	CONTRACCION RADIAL %	3.9
FOTOGRAFIA PIEZA DE MADERA		CONTRACCION TANGENCIAL %	6.4
		CONTRACCION VOLUMETRICA %	10.4
		RELACION CT/CR	1.6
CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS		PROPIEDADES MECANICAS	
COLOR	Albura de color blanco rosado (5YR 8/2) con transición gradual al duramen	MODULO DE RUPTURA kg/cm2	1180
VEADO	Líneas vasculares	MODULO DE ELASTICIDAD t/cm2	95
OLOR	No Distintivo	COMPRESION PARALELA kg/cm2	584
LUSTRE	Brillante	COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2	98
		DUREZA EN LOS LADOS kg	461
		TENACIDAD kg-m	0.98
CARACTERÍSTICAS MACROSCOPICAS			
PLANO TRANSVERSAL GENERAL		PLANO TANGENCIAL	
PLANO TRANSVERSAL DETALLE			
ANILLOS DE CRECIMIENTO	VASOS	PARENQUIMA AXIAL	PARENQUIMA RADIAL
Indistintos o ausentes.	Visibles a simple vista, múltiples de 2-3 poros; difusa, orientación radial; sin	Visible con aumento de 10X, de tipo paratraqueal difuso en agregados.	Visibles con aumento de 10X. Estratificación ausente.
			OTRAS ESTRUCTURAS
			Ausente

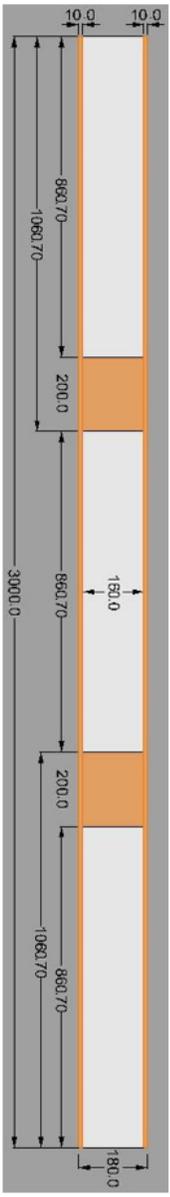
Anexo C: Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera

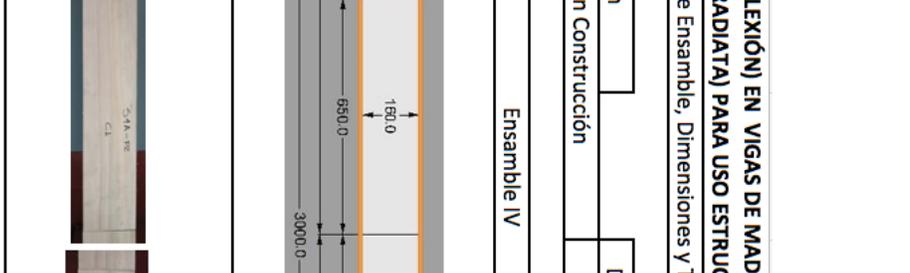
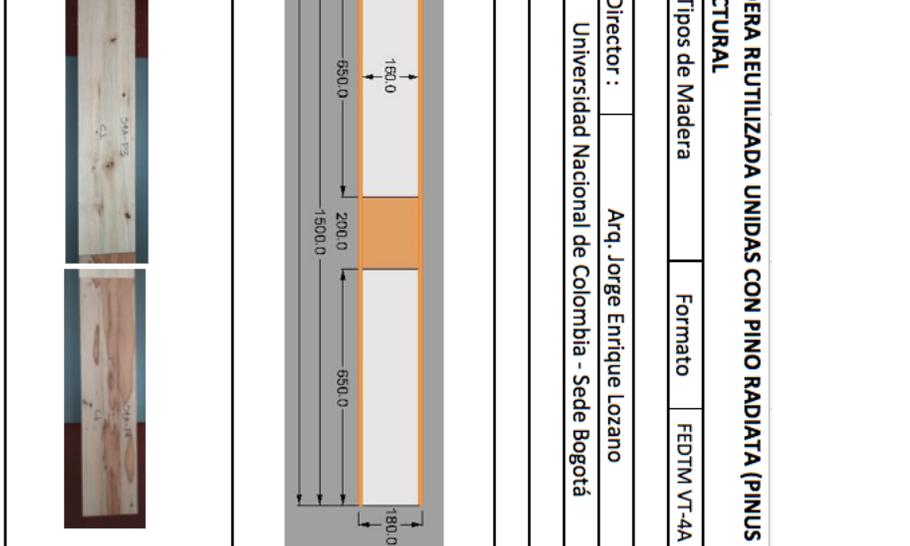
		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL		
Viga Tipo	S1A	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	Formato	FEDTM VT-1A
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán	Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano	
Fecha:	06-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
Ensamble I				
Lista de Nomenclatura	Dimensión			
Altura Pino	Hs (mm)			
Ancho Pino	Bs (mm)			
Largo Pino	Ls (mm)			
Altura Reciclada	Hr (mm)			
Ancho Reciclada	Br (mm)			
Largo Reciclada	Lr (mm)			
Altura Unión	Hu (mm)			
Ancho Unión	Bu (mm)			
Largo Unión	Lu (mm)			
Altura Total	Ht (mm)			
Ancho Total	Bt (mm)			
Largo Total	Lt (mm)			
				
Tipo Madera P1				
Comino				
Nombre Científico P1				
Ocotea		Observaciones Generales:		

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
Viga Tipo	S1B	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	Formato
FEDIM VT-1B			
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán	Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
Fecha:	06-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
Ensamble I			
			
			
Lista de Nomenclatura	Dimensión		
Altura Pino	Hs (mm)	10	
Ancho Pino	Bs (mm)	70	
Largo Pino	Ls (mm)	3000	
Altura Reciclada	Hr (mm)	160	
Ancho Reciclada	Br (mm)	30.5	
Largo Reciclada	Lr (mm)	3000	
Altura Unión	Hu (mm)	160	
Ancho Unión	Bu (mm)	10.9	
Largo Unión	Lu (mm)	50	
Altura Total	Ht (mm)	180	
Ancho Total	Bt (mm)	30.5	
Largo Total	Lt (mm)	3000	
Tipo Madera P1			
Laurel			
Nombre Científico P1			
Vítex.sp.			
Observaciones Generales:			

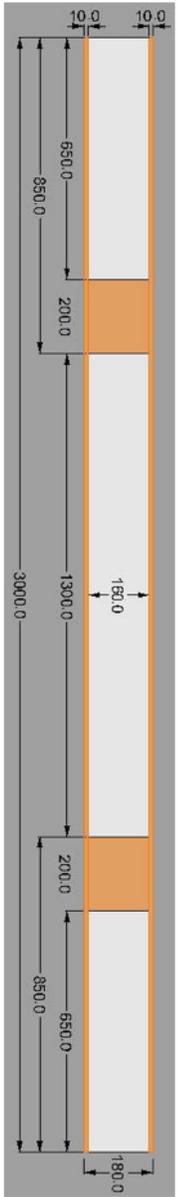
		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL		
Viga Tipo	S2A	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	Formato	FEDTM VT-2A
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán	Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano	
Fecha:	06-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
Ensamble II				
Lista de Nomenclatura	Dimensión			
Altura Pino	Hs (mm)			
Ancho Pino	Bs (mm)			
Largo Pino	Ls (mm)			
Altura Reciclada	Hr (mm)			
Ancho Reciclada	Br (mm)			
Largo Reciclada	Lr (mm)			
Altura Unión	Hu (mm)			
Ancho Unión	Bu (mm)			
Largo Unión	Lu (mm)			
Altura Total	Ht (mm)			
Ancho Total	Bt (mm)			
Largo Total	Lt (mm)			
Tipo Madera P1		Tipo Madera P2		
otobo		Perillo		
Nombre Científico P1		Nombre Científico P2		
Otoba Lehmanni		Counnamacrocarpa		
Observaciones Generales:				

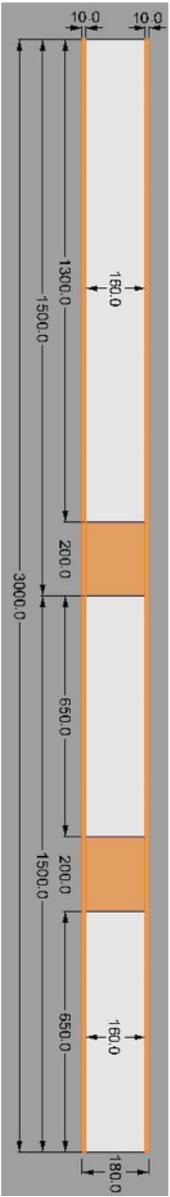
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL																													
Viga Tipo	S2B	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	Formato FEDTM VT-2B																										
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán	Director:	Arq. Jorge Enrique Lozano																										
Fecha:	07-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																										
Ensamble II																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lista de Nomenclatura</th> <th>Dimensión</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altura Pino</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Ancho Pino</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>Largo Pino</td> <td>3000</td> </tr> <tr> <td>Altura Reciclada</td> <td>160</td> </tr> <tr> <td>Ancho Reciclada</td> <td>30.5</td> </tr> <tr> <td>Largo Reciclada</td> <td>3000</td> </tr> <tr> <td>Altura Unión</td> <td>160</td> </tr> <tr> <td>Ancho Unión</td> <td>10.9</td> </tr> <tr> <td>Largo Unión</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Altura Total</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>Ancho Total</td> <td>30.5</td> </tr> <tr> <td>Largo Total</td> <td>3000</td> </tr> </tbody> </table>				Lista de Nomenclatura	Dimensión	Altura Pino	10	Ancho Pino	70	Largo Pino	3000	Altura Reciclada	160	Ancho Reciclada	30.5	Largo Reciclada	3000	Altura Unión	160	Ancho Unión	10.9	Largo Unión	50	Altura Total	180	Ancho Total	30.5	Largo Total	3000
Lista de Nomenclatura	Dimensión																												
Altura Pino	10																												
Ancho Pino	70																												
Largo Pino	3000																												
Altura Reciclada	160																												
Ancho Reciclada	30.5																												
Largo Reciclada	3000																												
Altura Unión	160																												
Ancho Unión	10.9																												
Largo Unión	50																												
Altura Total	180																												
Ancho Total	30.5																												
Largo Total	3000																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo Madera P1</th> <th>Tipo Madera P2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perillo</td> <td>Laurel</td> </tr> </tbody> </table>		Tipo Madera P1	Tipo Madera P2	Perillo	Laurel	Observaciones Generales:																							
Tipo Madera P1	Tipo Madera P2																												
Perillo	Laurel																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre Científico P1</th> <th>Nombre Científico P2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Coumamacrocarpa</td> <td>Vitex sp.</td> </tr> </tbody> </table>		Nombre Científico P1	Nombre Científico P2	Coumamacrocarpa	Vitex sp.																								
Nombre Científico P1	Nombre Científico P2																												
Coumamacrocarpa	Vitex sp.																												

			
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
Viga Tipo	S3A	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	Formato FEDTM VT-3A
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director : Arq. Jorge Enrique Lozano
Fecha:	07-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
Ensamble III			
Lista de Nomenclatura	Dimensión		
Altura Pino	Hs (mm)		
Ancho Pino	Bs (mm)		
Largo Pino	Ls (mm)		
Altura Reciclada	Hr (mm)		
Ancho Reciclada	Br (mm)		
Largo Reciclada	Lr (mm)		
Altura Unión	Hu (mm)		
Ancho Unión	Bu (mm)		
Largo Unión	Lu (mm)		
Altura Total	Ht (mm)		
Ancho Total	Bt (mm)		
Largo Total	Lt (mm)		
			
			
Tipo Madera P1	Tipo Madera P2	Tipo Madera P3	Observaciones Generales:
Laurel	Platanote	Sangretero	
Nombre Científico P1	Nombre Científico P2	Nombre Científico P3	
Vitex sp.	Hymatanthusarticulatus	Osteosphaerumplatyvspermum	

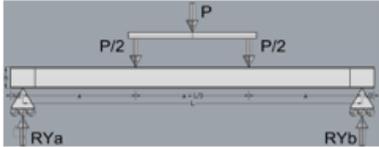
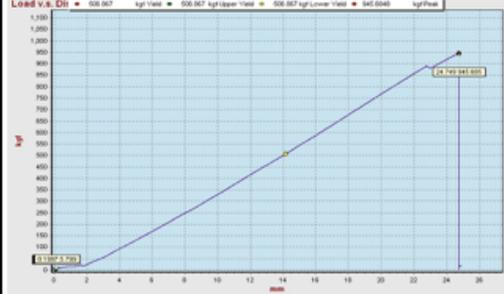
			
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
Viga Tipo	S4A	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	Formato FEDTM-VT-4A
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director : Arq. Jorge Enrique Lozano
Fecha:	08-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
Ensamble IV			
Lista de Nomenclatura		Dimensión	
Altura Pino	Hs (mm)		
Ancho Pino	Bs (mm)		
Largo Pino	Ls (mm)		
Altura Reciclada	Hr (mm)		
Ancho Reciclada	Br (mm)		
Largo Reciclada	Lr (mm)		
Altura Unión	Hu (mm)		
Ancho Unión	Bu (mm)		
Largo Unión	Lu (mm)		
Altura Total	Ht (mm)		
Ancho Total	Bt (mm)		
Largo Total	Lt (mm)		
			
Tipo Madera P1		Tipo Madera P2	
Cariseco		Sangretoro	
Nombre Científico P1		Nombre Científico P2	
Billia Rosea		Osteosphoemumplatyspermum	
Tipo Madera P3		Tipo Madera P4	
Platanote		Cariseco	
Nombre Científico P3		Nombre Científico P4	
Hymatanthusarticulatus		Billia Rosea	
Observaciones Generales:			

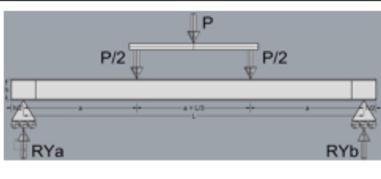
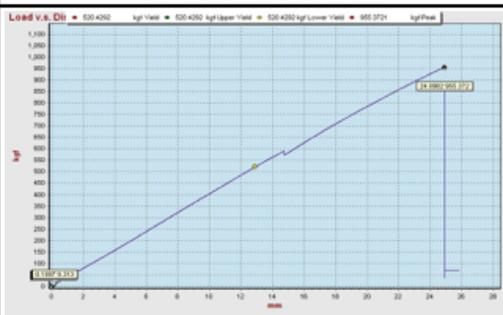
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
Viga Tipo	S4B	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	Formato
Autor:		Arq. Andrés Felipe Guzmán	Arq. Jorge Enrique Lozano
Fecha:		08-nov-17	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
Ensamble IV			
Lista de Nomenclatura			
Altura Pino	Hs (mm)	10	
Ancho Pino	Bs (mm)	70	
Largo Pino	Ls (mm)	3000	
Altura Reciclada	Hr (mm)	160	
Ancho Reciclada	Br (mm)	30.5	
Largo Reciclada	Lr (mm)	3000	
Altura Unión	Hu (mm)	160	
Ancho Unión	Bu (mm)	10.9	
Largo Unión	Lu (mm)	50	
Altura Total	Ht (mm)	180	
Ancho Total	Bt (mm)	30.5	
Largo Total	Lt (mm)	3000	
Tipo Madera P1		Tipo Madera P2	Tipo Madera P4
Platanote		Cariseco	Platanote
Nombre Científico P1		Nombre Científico P2	Nombre Científico P4
Hymatanthusarticulatus		Billia Rosea	Hymatanthusarticulatus
Observaciones Generales:			

			
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
Viga Tipo	SSA	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	Formato FEDTM VT-5A
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director : Arq. Jorge Enrique Lozano
Fecha:	09-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
Ensamble V			
Lista de Nomenclatura	Dimensión		
Altura Pino	Hs (mm) 10		
Ancho Pino	Bs (mm) 70		
Largo Pino	Ls (mm) 3000		
Altura Reciclada	Hr (mm) 160		
Ancho Reciclada	Br (mm) 30.5		
Largo Reciclada	Lr (mm) 3000		
Altura Unión	Hu (mm) 160		
Ancho Unión	Bu (mm) 10.9		
Largo Unión	Lu (mm) 50		
Altura Total	Ht (mm) 180		
Ancho Total	Bt (mm) 30.5		
Largo Total	Lt (mm) 3000		
Tipo Madera P1	Tipo Madera P2	Tipo Madera P3	Observaciones Generales:
Platanote	Oboho	Laurel	
Nombre Científico P1	Nombre Científico P2	Nombre Científico P3	
Hymatanthusarticulatus	Otoba lehmanni	Vitex	

				
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL				
Viga Tipo	SGA	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	Formato FEDTM VT-5B	
Autor:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director : Arq. Jorge Enrique Lozano	
Fecha:	09-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
Ensamble V				
Lista de Nomenclatura	Dimensión			
Altura Pino	Hs (mm)			10
Ancho Pino	Bs (mm)			70
Largo Pino	Ls (mm)			3000
Altura Reciclada	Hr (mm)			160
Ancho Reciclada	Br (mm)			30.5
Largo Reciclada	Lr (mm)			3000
Altura Unión	Hu (mm)			160
Ancho Unión	Bu (mm)			10.9
Largo Unión	Lu (mm)			50
Altura Total	Ht (mm)	180		
Ancho Total	Bt (mm)	30.5		
Largo Total	Lt (mm)	3000		
				
Tipo Madera P1	Tipo Madera P2	Tipo Madera P3	Observaciones Generales: 	
Laurel	Platanote	Platanote		
Nombre Científico P1	Nombre Científico P2	Nombre Científico P3		
Vtrex sp.	Hymatanthusarticulatus	Hymatanthusarticulatus		

**Anexo D: Formato Ensayo Flexión
ASTM 198D – NTC5279**

	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL																																																																																																																																																																											
	Viga Tipo	S1A	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																																																																																																																																																																							
	Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano																																																																																																																																																																							
	Fecha:	22-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																																																																																																																																																								
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO S1A																																																																																																																																																																											
ESQUEMA DEL ENSAYO 		FOTOGRAFIA ENSAYO 		FORMULAS UTILIZADAS $Sf = \frac{m_{ip} * c}{\sum I_{ST}}$ $SR = \frac{m * c}{\sum I_{cr}}$ $MOE = \frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$																																																																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">LECTURA</th> <th>CARGA</th> <th>CARGA</th> <th>DEFORMACIÓN</th> <th>DEFORMACIÓN</th> </tr> <tr> <th>kgf</th> <th>N</th> <th>cm</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>24.1</td><td>236.34</td><td>0.05</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>3</td><td>50.4</td><td>494.25</td><td>0.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>80.2</td><td>786.49</td><td>0.15</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>107.3</td><td>1052.25</td><td>0.2</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>135.12</td><td>1325.07</td><td>0.25</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>164.8</td><td>1616.13</td><td>0.3</td><td>3</td></tr> <tr><td>8</td><td>193.4</td><td>1896.60</td><td>0.35</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>9</td><td>221.8</td><td>2175.11</td><td>0.4</td><td>4</td></tr> <tr><td>10</td><td>251.4</td><td>2465.38</td><td>0.45</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>11</td><td>279.2</td><td>2738.01</td><td>0.5</td><td>5</td></tr> <tr><td>12</td><td>308.9</td><td>3029.26</td><td>0.55</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>13</td><td>337</td><td>3304.83</td><td>0.6</td><td>6</td></tr> <tr><td>14</td><td>365.8</td><td>3587.26</td><td>0.65</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>15</td><td>393.8</td><td>3861.84</td><td>0.7</td><td>7</td></tr> <tr><td>16</td><td>420.8</td><td>4126.62</td><td>0.75</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>17</td><td>450.9</td><td>4421.80</td><td>0.8</td><td>8</td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	kgf	N	cm	mm	1	0	0.00	0	0	2	24.1	236.34	0.05	0.5	3	50.4	494.25	0.1	1	4	80.2	786.49	0.15	1.5	5	107.3	1052.25	0.2	2	6	135.12	1325.07	0.25	2.5	7	164.8	1616.13	0.3	3	8	193.4	1896.60	0.35	3.5	9	221.8	2175.11	0.4	4	10	251.4	2465.38	0.45	4.5	11	279.2	2738.01	0.5	5	12	308.9	3029.26	0.55	5.5	13	337	3304.83	0.6	6	14	365.8	3587.26	0.65	6.5	15	393.8	3861.84	0.7	7	16	420.8	4126.62	0.75	7.5	17	450.9	4421.80	0.8	8	18					19					20					21					22					23					24					25					26					27					28					29					30					<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ancho de la probeta (mm)</th> <th>Altura de la probeta (mm)</th> <th>Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)</th> <th>Longitud de la probeta (mm)</th> </tr> <tr> <th>b</th> <th>h</th> <th>a</th> <th>L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>70</td> <td>180</td> <td>940</td> <td>3000</td> </tr> </tbody> </table>	Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)	b	h	a	L	70	180	940	3000
LECTURA		CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN																																																																																																																																																																							
	kgf	N	cm	mm																																																																																																																																																																								
1	0	0.00	0	0																																																																																																																																																																								
2	24.1	236.34	0.05	0.5																																																																																																																																																																								
3	50.4	494.25	0.1	1																																																																																																																																																																								
4	80.2	786.49	0.15	1.5																																																																																																																																																																								
5	107.3	1052.25	0.2	2																																																																																																																																																																								
6	135.12	1325.07	0.25	2.5																																																																																																																																																																								
7	164.8	1616.13	0.3	3																																																																																																																																																																								
8	193.4	1896.60	0.35	3.5																																																																																																																																																																								
9	221.8	2175.11	0.4	4																																																																																																																																																																								
10	251.4	2465.38	0.45	4.5																																																																																																																																																																								
11	279.2	2738.01	0.5	5																																																																																																																																																																								
12	308.9	3029.26	0.55	5.5																																																																																																																																																																								
13	337	3304.83	0.6	6																																																																																																																																																																								
14	365.8	3587.26	0.65	6.5																																																																																																																																																																								
15	393.8	3861.84	0.7	7																																																																																																																																																																								
16	420.8	4126.62	0.75	7.5																																																																																																																																																																								
17	450.9	4421.80	0.8	8																																																																																																																																																																								
18																																																																																																																																																																												
19																																																																																																																																																																												
20																																																																																																																																																																												
21																																																																																																																																																																												
22																																																																																																																																																																												
23																																																																																																																																																																												
24																																																																																																																																																																												
25																																																																																																																																																																												
26																																																																																																																																																																												
27																																																																																																																																																																												
28																																																																																																																																																																												
29																																																																																																																																																																												
30																																																																																																																																																																												
Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)																																																																																																																																																																									
b	h	a	L																																																																																																																																																																									
70	180	940	3000																																																																																																																																																																									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE ADHESIVO</th> <th>MUF 1242</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE PRENSADO</td> <td>18 HORAS</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE FRAGUADO</td> <td>6 DIAS</td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242	PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	2.5	TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																	
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																																																																																																																																																																											
PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	2.5																																																																																																																																																																											
TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS																																																																																																																																																																											
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																											
		GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN 																																																																																																																																																																										
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MODULO DE RUPTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sr (kgf/cm²)</td> <td>323.56</td> </tr> <tr> <td>Sr (N/mm²)</td> <td>31.73</td> </tr> </tbody> </table>		MODULO DE RUPTURA		Sr (kgf/cm²)	323.56	Sr (N/mm²)	31.73																																																																																																																																																																			
MODULO DE RUPTURA																																																																																																																																																																												
Sr (kgf/cm²)	323.56																																																																																																																																																																											
Sr (N/mm²)	31.73																																																																																																																																																																											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MODULO ELASTICO APARENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ef (kgf/cm²)</td> <td>319321.65</td> </tr> <tr> <td>Ef (N/mm²)</td> <td>31314.64</td> </tr> </tbody> </table>		MODULO ELASTICO APARENTE		Ef (kgf/cm²)	319321.65	Ef (N/mm²)	31314.64																																																																																																																																																																			
MODULO ELASTICO APARENTE																																																																																																																																																																												
Ef (kgf/cm²)	319321.65																																																																																																																																																																											
Ef (N/mm²)	31314.64																																																																																																																																																																											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sf (N/mm²)</td> <td>29.87</td> </tr> </tbody> </table>		ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)		Sf (N/mm²)	29.87																																																																																																																																																																					
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																																																																																																																																																																												
Sf (N/mm²)	29.87																																																																																																																																																																											
Contenido de Humedad S1A																																																																																																																																																																												
Tapa 1	Pieza 1	Tapa 2	Patín Superior	Patín Inferior																																																																																																																																																																								
13.6%	15%	14.5%	13.5 %	14%																																																																																																																																																																								

	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL																																																																																																																																																																														
	Viga Tipo	S18	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																																																																																																																																																																										
	Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano																																																																																																																																																																										
	Fecha:	22-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																																																																																																																																																											
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO S1A																																																																																																																																																																														
ESQUEMA DEL ENSAYO 		FOTOGRAFIA ENSAYO 		FORMULAS UTILIZADAS $Sf = \frac{m_{ip} * c}{\sum I_{ST}}$ $SR = \frac{m * c}{\sum I_{CT}}$ $MOE = \frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$																																																																																																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">LECTURA</th> <th>CARGA</th> <th>CARGA</th> <th>DEFORMACIÓN</th> <th>DEFORMACIÓN</th> </tr> <tr> <th>kgf</th> <th>N</th> <th>cm</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>27.84</td><td>273.02</td><td>0.05</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>3</td><td>52.5</td><td>514.85</td><td>0.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>76.3</td><td>748.24</td><td>0.15</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>101.2</td><td>992.43</td><td>0.2</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>124.3</td><td>1218.96</td><td>0.25</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>149.3</td><td>1464.13</td><td>0.3</td><td>3</td></tr> <tr><td>8</td><td>170.4</td><td>1671.05</td><td>0.35</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>9</td><td>194.8</td><td>1910.33</td><td>0.4</td><td>4</td></tr> <tr><td>10</td><td>220.8</td><td>2165.30</td><td>0.45</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>11</td><td>246.8</td><td>2420.27</td><td>0.5</td><td>5</td></tr> <tr><td>12</td><td>270.3</td><td>2650.73</td><td>0.55</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>13</td><td>294.03</td><td>2883.44</td><td>0.6</td><td>6</td></tr> <tr><td>14</td><td>319.4</td><td>3132.23</td><td>0.65</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>15</td><td>344.89</td><td>3382.20</td><td>0.7</td><td>7</td></tr> <tr><td>16</td><td>368.9</td><td>3617.66</td><td>0.75</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>17</td><td>390.02</td><td>3824.78</td><td>0.8</td><td>8</td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	kgf	N	cm	mm	1	0	0.00	0	0	2	27.84	273.02	0.05	0.5	3	52.5	514.85	0.1	1	4	76.3	748.24	0.15	1.5	5	101.2	992.43	0.2	2	6	124.3	1218.96	0.25	2.5	7	149.3	1464.13	0.3	3	8	170.4	1671.05	0.35	3.5	9	194.8	1910.33	0.4	4	10	220.8	2165.30	0.45	4.5	11	246.8	2420.27	0.5	5	12	270.3	2650.73	0.55	5.5	13	294.03	2883.44	0.6	6	14	319.4	3132.23	0.65	6.5	15	344.89	3382.20	0.7	7	16	368.9	3617.66	0.75	7.5	17	390.02	3824.78	0.8	8	18					19					20					21					22					23					24					25					26					27					28					29					30					<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ancho de la probeta (mm)</th> <th>Altura de la probeta (mm)</th> <th>Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)</th> <th>Longitud de la probeta (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>b</td> <td>h</td> <td>a</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>180</td> <td>940</td> <td>3000</td> </tr> </tbody> </table>				Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)	b	h	a	L	70	180	940	3000
		LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN																																																																																																																																																																									
	kgf		N	cm	mm																																																																																																																																																																										
	1	0	0.00	0	0																																																																																																																																																																										
	2	27.84	273.02	0.05	0.5																																																																																																																																																																										
	3	52.5	514.85	0.1	1																																																																																																																																																																										
	4	76.3	748.24	0.15	1.5																																																																																																																																																																										
	5	101.2	992.43	0.2	2																																																																																																																																																																										
	6	124.3	1218.96	0.25	2.5																																																																																																																																																																										
	7	149.3	1464.13	0.3	3																																																																																																																																																																										
	8	170.4	1671.05	0.35	3.5																																																																																																																																																																										
	9	194.8	1910.33	0.4	4																																																																																																																																																																										
	10	220.8	2165.30	0.45	4.5																																																																																																																																																																										
	11	246.8	2420.27	0.5	5																																																																																																																																																																										
	12	270.3	2650.73	0.55	5.5																																																																																																																																																																										
	13	294.03	2883.44	0.6	6																																																																																																																																																																										
	14	319.4	3132.23	0.65	6.5																																																																																																																																																																										
	15	344.89	3382.20	0.7	7																																																																																																																																																																										
	16	368.9	3617.66	0.75	7.5																																																																																																																																																																										
	17	390.02	3824.78	0.8	8																																																																																																																																																																										
	18																																																																																																																																																																														
	19																																																																																																																																																																														
	20																																																																																																																																																																														
	21																																																																																																																																																																														
	22																																																																																																																																																																														
	23																																																																																																																																																																														
	24																																																																																																																																																																														
	25																																																																																																																																																																														
	26																																																																																																																																																																														
	27																																																																																																																																																																														
28																																																																																																																																																																															
29																																																																																																																																																																															
30																																																																																																																																																																															
Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)																																																																																																																																																																												
b	h	a	L																																																																																																																																																																												
70	180	940	3000																																																																																																																																																																												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE ADHESIVO</th> <th>MUF 1242</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE PRENSADO</td> <td>18 HORAS</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE FRAGUADO</td> <td>6 DIAS</td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242	PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	2.5	TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																				
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																																																																																																																																																																														
PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	2.5																																																																																																																																																																														
TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS																																																																																																																																																																														
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																														
		GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN 																																																																																																																																																																													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MODULO DE RUPTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sr (kgf/cm²)</td> <td>344.05</td> </tr> <tr> <td>Sr (N/mm²)</td> <td>33.74</td> </tr> </tbody> </table>		MODULO DE RUPTURA		Sr (kgf/cm ²)	344.05	Sr (N/mm ²)	33.74																																																																																																																																																																						
MODULO DE RUPTURA																																																																																																																																																																															
Sr (kgf/cm ²)	344.05																																																																																																																																																																														
Sr (N/mm ²)	33.74																																																																																																																																																																														
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MODULO ELASTICO APARENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ef (kgf/cm²)</td> <td>302969.21</td> </tr> <tr> <td>Ef (N/mm²)</td> <td>29711.02</td> </tr> </tbody> </table>		MODULO ELASTICO APARENTE		Ef (kgf/cm ²)	302969.21	Ef (N/mm ²)	29711.02																																																																																																																																																																						
MODULO ELASTICO APARENTE																																																																																																																																																																															
Ef (kgf/cm ²)	302969.21																																																																																																																																																																														
Ef (N/mm ²)	29711.02																																																																																																																																																																														
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sf (N/mm²)</td> <td>33.74</td> </tr> </tbody> </table>		ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)		Sf (N/mm ²)	33.74																																																																																																																																																																								
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																																																																																																																																																																															
Sf (N/mm ²)	33.74																																																																																																																																																																														
Contenido de Humedad S18																																																																																																																																																																															
Tapa 1	Pieza 1	Tapa 2	Patín Superior	Patín Inferior																																																																																																																																																																											
15.5	16%	14%	14%	13.6%																																																																																																																																																																											



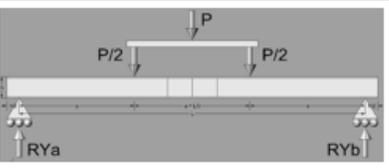
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
GIMG
CIBAM

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL

Viga Tipo	S2A	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A
Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
Fecha:	22-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	

ENSAYO DE FLEXIÓN VIGA TIPO S1A

ESQUEMA DEL ENSAYO



FOTOGRAFIA ENSAYO



FORMULAS UTILIZADAS

$$Sf = \frac{m_{ip} * c}{\sum I_{ST}}$$

$$SR = \frac{m * c}{\sum I_{cr}}$$

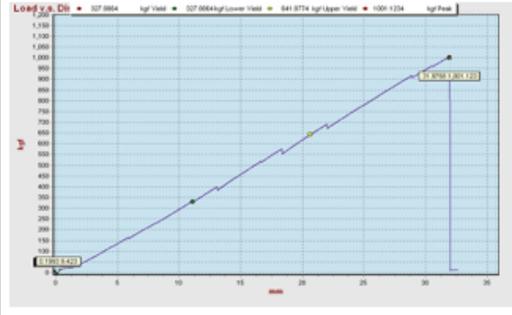
$$MOE = \frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$$

LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN
	kgf	N	cm	mm
1	0	0.00	0	0
2	27.6	270.66	0.05	0.5
3	50.9	499.16	0.1	1
4	71	696.27	0.15	1.5
5	95.4	935.55	0.2	2
6	118.5	1162.08	0.25	2.5
7	138.9	1362.14	0.3	3
8	160.3	1572.00	0.35	3.5
9	183.1	1795.59	0.4	4
10	205.4	2014.28	0.45	4.5
11	228.9	2244.73	0.5	5
12	250.1	2452.63	0.55	5.5
13	275.6	2702.70	0.6	6
14	296.8	2910.60	0.65	6.5
15	320	3138.12	0.7	7
16	340.8	3342.09	0.75	7.5
17	365	3579.41	0.8	8
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				

Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)
b	h	a	L
70	180	940	3000

TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242
PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	2.5
TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS

GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN

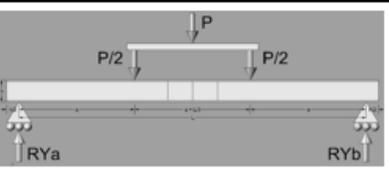


MODULO DE RUPTURA	
Sr (kgf/cm ²)	366.18
Sr (N/mm ²)	35.91

MODULO ELASTICO APARENTE	
Ef (kgf/cm ²)	268876.61
Ef (N/mm ²)	26367.69

ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)	
Sf (N/mm ²)	35.91

Contenido de Humedad S2A			
Pieza 2	Tapa 1	Tapa 2	Pieza 2
16%	14.2%	15.7%	15.7%
Patín Superior		Patín Inferior	
13.2%		13.6%	

	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL																																																																																																																																																																												
	Viga Tipo	S2B	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																																																																																																																																																																								
	Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano																																																																																																																																																																								
	Fecha:	22-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																																																																																																																																																									
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO S1A																																																																																																																																																																												
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS																																																																																																																																																																									
				$sf = \frac{m_{ip} * c}{\sum I_{ST}}$ $SR = \frac{m * c}{\sum I_{cr}}$ $MOE = \frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$																																																																																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">LECTURA</th> <th colspan="2">CARGA</th> <th colspan="2">DEFORMACIÓN</th> </tr> <tr> <th>kgf</th> <th>N</th> <th>cm</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>20.7</td><td>203.00</td><td>0.05</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>3</td><td>40.01</td><td>392.36</td><td>0.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>56</td><td>549.17</td><td>0.15</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>76.3</td><td>748.24</td><td>0.2</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>95.5</td><td>936.53</td><td>0.25</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>116.13</td><td>1138.84</td><td>0.3</td><td>3</td></tr> <tr><td>8</td><td>136.7</td><td>1340.56</td><td>0.35</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>9</td><td>157.8</td><td>1547.48</td><td>0.4</td><td>4</td></tr> <tr><td>10</td><td>178.4</td><td>1749.50</td><td>0.45</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>11</td><td>198.5</td><td>1946.61</td><td>0.5</td><td>5</td></tr> <tr><td>12</td><td>219.8</td><td>2155.49</td><td>0.55</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>13</td><td>240.7</td><td>2360.45</td><td>0.6</td><td>6</td></tr> <tr><td>14</td><td>262.8</td><td>2577.18</td><td>0.65</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>15</td><td>282.58</td><td>2771.15</td><td>0.7</td><td>7</td></tr> <tr><td>16</td><td>302.4</td><td>2965.52</td><td>0.75</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>17</td><td>323</td><td>3167.54</td><td>0.8</td><td>8</td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	LECTURA	CARGA		DEFORMACIÓN		kgf	N	cm	mm	1	0	0.00	0	0	2	20.7	203.00	0.05	0.5	3	40.01	392.36	0.1	1	4	56	549.17	0.15	1.5	5	76.3	748.24	0.2	2	6	95.5	936.53	0.25	2.5	7	116.13	1138.84	0.3	3	8	136.7	1340.56	0.35	3.5	9	157.8	1547.48	0.4	4	10	178.4	1749.50	0.45	4.5	11	198.5	1946.61	0.5	5	12	219.8	2155.49	0.55	5.5	13	240.7	2360.45	0.6	6	14	262.8	2577.18	0.65	6.5	15	282.58	2771.15	0.7	7	16	302.4	2965.52	0.75	7.5	17	323	3167.54	0.8	8	18					19					20					21					22					23					24					25					26					27					28					<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ancho de la probeta (mm)</th> <th>Altura de la probeta (mm)</th> <th>Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)</th> <th>Longitud de la probeta (mm)</th> </tr> <tr> <td>b</td> <td>h</td> <td>a</td> <td>L</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>70</td> <td>180</td> <td>940</td> <td>3000</td> </tr> </tbody> </table>		Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)	b	h	a	L	70	180	940	3000	<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE ADHESIVO</th> <th>MUF 1242</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PRESION DE PENSADO (kg/cm2)</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE PENSADO</td> <td>18 HORAS</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE FRAGUADO</td> <td>6 DIAS</td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242	PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	2.5	TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS
		LECTURA	CARGA		DEFORMACIÓN																																																																																																																																																																								
	kgf		N	cm	mm																																																																																																																																																																								
	1	0	0.00	0	0																																																																																																																																																																								
	2	20.7	203.00	0.05	0.5																																																																																																																																																																								
	3	40.01	392.36	0.1	1																																																																																																																																																																								
	4	56	549.17	0.15	1.5																																																																																																																																																																								
	5	76.3	748.24	0.2	2																																																																																																																																																																								
	6	95.5	936.53	0.25	2.5																																																																																																																																																																								
	7	116.13	1138.84	0.3	3																																																																																																																																																																								
	8	136.7	1340.56	0.35	3.5																																																																																																																																																																								
	9	157.8	1547.48	0.4	4																																																																																																																																																																								
	10	178.4	1749.50	0.45	4.5																																																																																																																																																																								
	11	198.5	1946.61	0.5	5																																																																																																																																																																								
	12	219.8	2155.49	0.55	5.5																																																																																																																																																																								
	13	240.7	2360.45	0.6	6																																																																																																																																																																								
	14	262.8	2577.18	0.65	6.5																																																																																																																																																																								
	15	282.58	2771.15	0.7	7																																																																																																																																																																								
	16	302.4	2965.52	0.75	7.5																																																																																																																																																																								
	17	323	3167.54	0.8	8																																																																																																																																																																								
	18																																																																																																																																																																												
	19																																																																																																																																																																												
	20																																																																																																																																																																												
	21																																																																																																																																																																												
	22																																																																																																																																																																												
	23																																																																																																																																																																												
	24																																																																																																																																																																												
	25																																																																																																																																																																												
26																																																																																																																																																																													
27																																																																																																																																																																													
28																																																																																																																																																																													
Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)																																																																																																																																																																										
b	h	a	L																																																																																																																																																																										
70	180	940	3000																																																																																																																																																																										
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																																																																																																																																																																												
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	2.5																																																																																																																																																																												
TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS																																																																																																																																																																												
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																												
		<p style="text-align: center;">GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN</p> 		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MODULO DE RUPTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sr (kgf/cm²)</td> <td>202.01</td> </tr> <tr> <td>Sr (N/mm²)</td> <td>19.81</td> </tr> </tbody> </table>		MODULO DE RUPTURA		Sr (kgf/cm ²)	202.01	Sr (N/mm ²)	19.81																																																																																																																																																																		
MODULO DE RUPTURA																																																																																																																																																																													
Sr (kgf/cm ²)	202.01																																																																																																																																																																												
Sr (N/mm ²)	19.81																																																																																																																																																																												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MODULO ELASTICO APARENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ef (kgf/cm²)</td> <td>295613.77</td> </tr> <tr> <td>Ef (N/mm²)</td> <td>28989.7</td> </tr> </tbody> </table>		MODULO ELASTICO APARENTE		Ef (kgf/cm ²)	295613.77	Ef (N/mm ²)	28989.7	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sf (N/mm²)</td> <td>19.81</td> </tr> </tbody> </table>		ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)		Sf (N/mm ²)	19.81																																																																																																																																																														
MODULO ELASTICO APARENTE																																																																																																																																																																													
Ef (kgf/cm ²)	295613.77																																																																																																																																																																												
Ef (N/mm ²)	28989.7																																																																																																																																																																												
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																																																																																																																																																																													
Sf (N/mm ²)	19.81																																																																																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Contenido de Humedad S2B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pieza 2</td> <td>Tapa 1</td> <td>Tapa 2</td> <td>Pieza 2</td> </tr> <tr> <td>16.4%</td> <td>14.4%</td> <td>13.5%</td> <td>15.7%</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Patin Superior</td> <td colspan="2">Patin Inferior</td> </tr> <tr> <td colspan="2">13.6%</td> <td colspan="2">14%</td> </tr> </tbody> </table>					Contenido de Humedad S2B				Pieza 2	Tapa 1	Tapa 2	Pieza 2	16.4%	14.4%	13.5%	15.7%	Patin Superior		Patin Inferior		13.6%		14%																																																																																																																																																						
Contenido de Humedad S2B																																																																																																																																																																													
Pieza 2	Tapa 1	Tapa 2	Pieza 2																																																																																																																																																																										
16.4%	14.4%	13.5%	15.7%																																																																																																																																																																										
Patin Superior		Patin Inferior																																																																																																																																																																											
13.6%		14%																																																																																																																																																																											



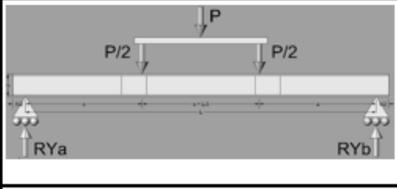
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
GIMG
CIBAM

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL

Viga Tipo	S3A	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A
Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
Fecha:	22-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	

ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO S1A

ESQUEMA DEL ENSAYO



FOTOGRAFIA ENSAYO



FORMULAS UTILIZADAS

$$Sf = \frac{m_{ip} * c}{\sum I_{ST}}$$

$$SR = \frac{m * c}{\sum I_{cr}}$$

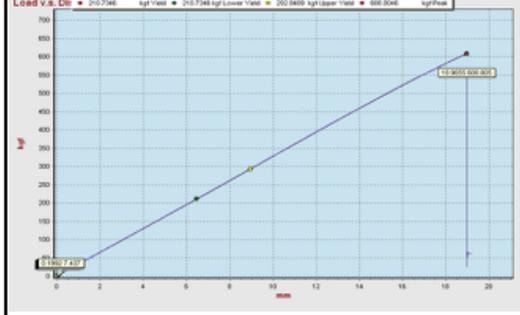
$$MOE = \frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$$

LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN
	kgf	N	cm	mm
1	0	0.00	0	0
2	20.2	198.09	0.05	0.5
3	38.2	374.61	0.1	1
4	57.5	563.88	0.15	1.5
5	77.4	759.03	0.2	2
6	95.8	939.47	0.25	2.5
7	114.2	1119.92	0.3	3
8	134.5	1318.99	0.35	3.5
9	152	1490.61	0.4	4
10	170	1667.12	0.45	4.5
11	188.4	1847.57	0.5	5
12	206.9	2028.99	0.55	5.5
13	225.2	2208.45	0.6	6
14	245.8	2410.47	0.65	6.5
15	264.3	2591.89	0.7	7
16	282.4	2769.39	0.75	7.5
17	301.8	2959.64	0.8	8
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				

Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)
b	h	a	L
70	180	940	3000

TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242
PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	2.5
TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS

GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN

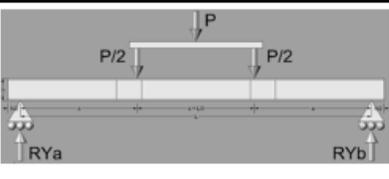
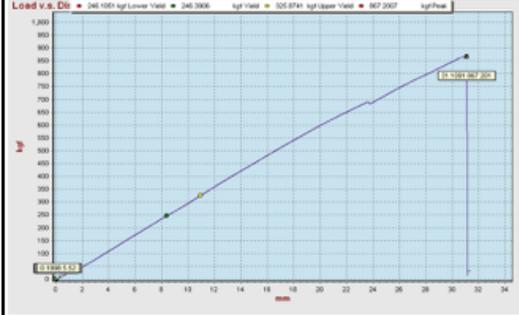


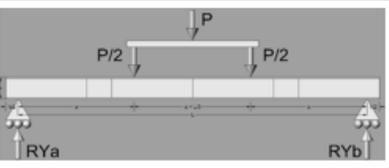
MODULO DE RUPTURA	
Sr (kgf/cm ²)	238.74
Sr (N/mm ²)	23.41

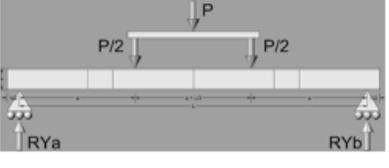
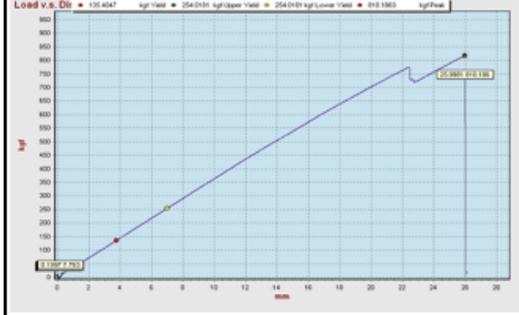
MODULO ELASTICO APARENTE	
Ef (kgf/cm ²)	275023.04
Ef (N/mm ²)	26970.45

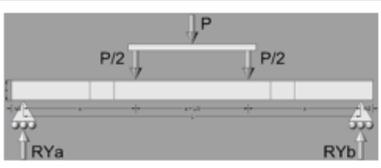
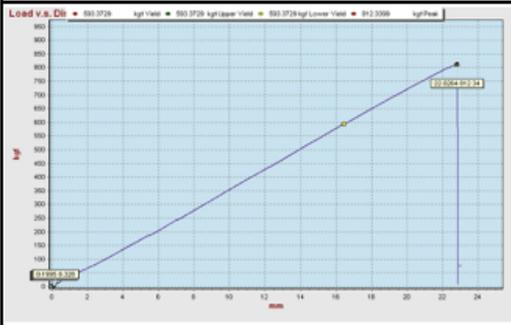
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)	
Sf (N/mm ²)	23.41

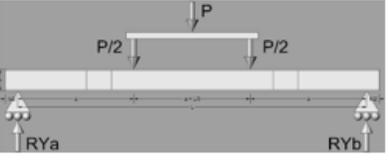
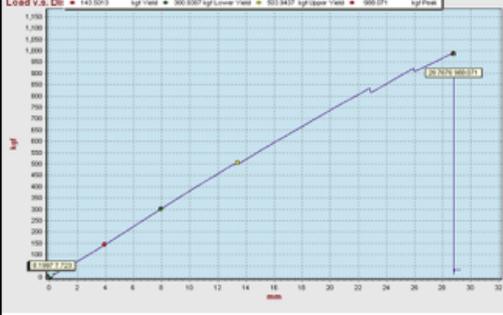
Contenido de Humedad S3A				
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3
16.2%	14.2%	15.5%	13.8%	15.2%
Patin Superior		Patin Inferior		
13.6%		14.1%		

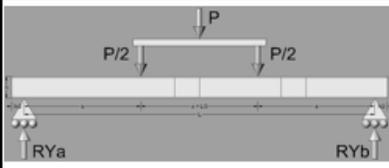
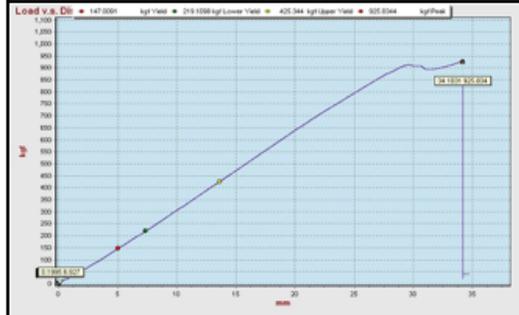
	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL																																																																																																																																																																				
	Viga Tipo	S3B	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																																																																																																																																																																
	Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano																																																																																																																																																																
	Fecha:	22-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																																																																																																																																																	
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO S1A																																																																																																																																																																				
ESQUEMA DEL ENSAYO 		FOTOGRAFIA ENSAYO 		FORMULAS UTILIZADAS $Sf = \frac{m_{ip} \times c}{\sum I_{ST}}$ $SR = \frac{m \times c}{\sum I_{cr}}$ $MOE = \frac{P \alpha}{24 I \Delta} \times 3L^2 - 2a^2$																																																																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">LECTURA</th> <th>CARGA</th> <th>CARGA</th> <th>DEFORMACIÓN</th> <th>DEFORMACIÓN</th> </tr> <tr> <th>kgf</th> <th>N</th> <th>cm</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>19.67</td><td>192.90</td><td>0.05</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>3</td><td>38.95</td><td>381.97</td><td>0.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>56.8</td><td>557.02</td><td>0.15</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>77.2</td><td>757.07</td><td>0.2</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>96.81</td><td>949.38</td><td>0.25</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>117</td><td>1147.37</td><td>0.3</td><td>3</td></tr> <tr><td>8</td><td>137.25</td><td>1345.96</td><td>0.35</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>9</td><td>157.8</td><td>1547.48</td><td>0.4</td><td>4</td></tr> <tr><td>10</td><td>177.2</td><td>1737.73</td><td>0.45</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>11</td><td>198.4</td><td>1945.63</td><td>0.5</td><td>5</td></tr> <tr><td>12</td><td>217.3</td><td>2130.98</td><td>0.55</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>13</td><td>237.4</td><td>2328.09</td><td>0.6</td><td>6</td></tr> <tr><td>14</td><td>257.6</td><td>2526.18</td><td>0.65</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>15</td><td>278.8</td><td>2734.08</td><td>0.7</td><td>7</td></tr> <tr><td>16</td><td>298.8</td><td>2930.22</td><td>0.75</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>17</td><td>318.7</td><td>3125.37</td><td>0.8</td><td>8</td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	kgf	N	cm	mm	1	0	0.00	0	0	2	19.67	192.90	0.05	0.5	3	38.95	381.97	0.1	1	4	56.8	557.02	0.15	1.5	5	77.2	757.07	0.2	2	6	96.81	949.38	0.25	2.5	7	117	1147.37	0.3	3	8	137.25	1345.96	0.35	3.5	9	157.8	1547.48	0.4	4	10	177.2	1737.73	0.45	4.5	11	198.4	1945.63	0.5	5	12	217.3	2130.98	0.55	5.5	13	237.4	2328.09	0.6	6	14	257.6	2526.18	0.65	6.5	15	278.8	2734.08	0.7	7	16	298.8	2930.22	0.75	7.5	17	318.7	3125.37	0.8	8	18					19					20					21					22					23					24					25					26					27					28					<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ancho de la probeta (mm)</th> <th>Altura de la probeta (mm)</th> <th>Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)</th> <th>Longitud de la probeta (mm)</th> </tr> <tr> <th>b</th> <th>h</th> <th>a</th> <th>L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>70</td> <td>180</td> <td>940</td> <td>3000</td> </tr> </tbody> </table>				Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)	b	h	a	L	70	180	940	3000
		LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN																																																																																																																																																															
	kgf		N	cm	mm																																																																																																																																																																
	1	0	0.00	0	0																																																																																																																																																																
	2	19.67	192.90	0.05	0.5																																																																																																																																																																
	3	38.95	381.97	0.1	1																																																																																																																																																																
	4	56.8	557.02	0.15	1.5																																																																																																																																																																
	5	77.2	757.07	0.2	2																																																																																																																																																																
	6	96.81	949.38	0.25	2.5																																																																																																																																																																
	7	117	1147.37	0.3	3																																																																																																																																																																
	8	137.25	1345.96	0.35	3.5																																																																																																																																																																
	9	157.8	1547.48	0.4	4																																																																																																																																																																
	10	177.2	1737.73	0.45	4.5																																																																																																																																																																
	11	198.4	1945.63	0.5	5																																																																																																																																																																
	12	217.3	2130.98	0.55	5.5																																																																																																																																																																
	13	237.4	2328.09	0.6	6																																																																																																																																																																
	14	257.6	2526.18	0.65	6.5																																																																																																																																																																
	15	278.8	2734.08	0.7	7																																																																																																																																																																
	16	298.8	2930.22	0.75	7.5																																																																																																																																																																
	17	318.7	3125.37	0.8	8																																																																																																																																																																
	18																																																																																																																																																																				
	19																																																																																																																																																																				
	20																																																																																																																																																																				
	21																																																																																																																																																																				
	22																																																																																																																																																																				
	23																																																																																																																																																																				
	24																																																																																																																																																																				
	25																																																																																																																																																																				
26																																																																																																																																																																					
27																																																																																																																																																																					
28																																																																																																																																																																					
Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)																																																																																																																																																																		
b	h	a	L																																																																																																																																																																		
70	180	940	3000																																																																																																																																																																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE ADHESIVO</th> <th>MUF 1242</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE PRENSADO</td> <td>18 HORAS</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE FRAGUADO</td> <td>6 DIAS</td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242	PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	2.5	TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																										
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																																																																																																																																																																				
PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	2.5																																																																																																																																																																				
TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS																																																																																																																																																																				
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																				
		GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN 																																																																																																																																																																			
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MODULO DE RUPTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sr (kgf/cm²)</td> <td>335.43</td> </tr> <tr> <td>Sr (N/mm²)</td> <td>32.89</td> </tr> </tbody> </table>		MODULO DE RUPTURA		Sr (kgf/cm ²)	335.43	Sr (N/mm ²)	32.89																																																																																																																																																												
MODULO DE RUPTURA																																																																																																																																																																					
Sr (kgf/cm ²)	335.43																																																																																																																																																																				
Sr (N/mm ²)	32.89																																																																																																																																																																				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MODULO ELASTICO APARENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ef (kgf/cm²)</td> <td>241752.86</td> </tr> <tr> <td>Ef (N/mm²)</td> <td>23707.77</td> </tr> </tbody> </table>		MODULO ELASTICO APARENTE		Ef (kgf/cm ²)	241752.86	Ef (N/mm ²)	23707.77																																																																																																																																																												
MODULO ELASTICO APARENTE																																																																																																																																																																					
Ef (kgf/cm ²)	241752.86																																																																																																																																																																				
Ef (N/mm ²)	23707.77																																																																																																																																																																				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sf (N/mm²)</td> <td>32.89</td> </tr> </tbody> </table>		ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)		Sf (N/mm ²)	32.89																																																																																																																																																														
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																																																																																																																																																																					
Sf (N/mm ²)	32.89																																																																																																																																																																				
Contenido de Humedad S3B																																																																																																																																																																					
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3																																																																																																																																																																	
16%	15.8%	14.6%	13.8%	16.2%																																																																																																																																																																	
Patin Superior		Patin Inferior																																																																																																																																																																			
14%		13.9%																																																																																																																																																																			

	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
	Viga Tipo	S4A	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato FEF VT-1A
	Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director : Arq. Jorge Enrique Lozano
	Fecha:	22-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO S1A				
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS
				$Sf = \frac{m_{ip} * c}{\sum I_{ST}}$ $SR = \frac{m * c}{\sum I_{CT}}$ $MOE = \frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN
	kgf	N	cm	mm
1	0	0.00	0	0
2	22.3	218.69	0.05	0.5
3	42.8	419.72	0.1	1
4	62.8	615.86	0.15	1.5
5	83.1	814.93	0.2	2
6	103.6	1015.97	0.25	2.5
7	121.8	1194.45	0.3	3
8	141.8	1390.58	0.35	3.5
9	159.87	1567.78	0.4	4
10	178.3	1748.52	0.45	4.5
11	198	1941.71	0.5	5
12	217.8	2135.88	0.55	5.5
13	236.9	2323.19	0.6	6
14	255.6	2506.57	0.65	6.5
15	272.4	2671.32	0.7	7
16	292.3	2866.47	0.75	7.5
17	311.2	3051.82	0.8	8
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
Contenido de Humedad S4A				
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Pieza 3	Tapa 2
16.5%	14.2%	15.8%	15.3%	14%
Pieza 4	Patín Superior		Patín Inferior	
16.1%	14.2%		13.9%	
Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)	
b	h	a	L	
70	180	940	3000	
TIPO DE ADHESIVO		MUF 1242		
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)		2.5		
TIEMPO DE PENSADO		18 HORAS		
TIEMPO DE FRAGUADO		6 DIAS		
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN				
				
MODULO DE RUPTURA				
Sr (kgf/cm ²)	255.96			
Sr (N/mm ²)	25.10			
MODULO ELASTICO APARENTE				
Ef (kgf/cm ²)	251077.17			
Ef (N/mm ²)	24622.17			
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)				
Sf (N/mm ²)	23.34			

	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL				
	Viga Tipo	S4B	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	
				FEF VT-1A	
	Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :	
	Fecha:	22-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO S1A					
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS	
				$Sf = \frac{m_{ip} * c}{\sum I_{ST}}$ $SR = \frac{m * c}{\sum I_{cr}}$ $MOE = \frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$	
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	
	kgf	N	cm	mm	
	1	0	0.00	0	0
	2	23.3	228.49	0.05	0.5
	3	46.13	452.38	0.1	1
	4	68.03	667.14	0.15	1.5
	5	91.2	894.36	0.2	2
	6	112.9	1107.17	0.25	2.5
	7	134.4	1318.01	0.3	3
	8	157.6	1545.52	0.35	3.5
	9	178.47	1750.19	0.4	4
	10	200.02	1961.52	0.45	4.5
	11	220.87	2165.99	0.5	5
	12	267.7	2625.23	0.55	5.5
	13	285.8	2802.73	0.6	6
	14	304.87	2989.74	0.65	6.5
	15	325.8	3194.99	0.7	7
	16	345.6	3389.17	0.75	7.5
	17	366.01	3589.32	0.8	8
	18				
	19				
	20				
	21				
	22				
	23				
	24				
	25				
	26				
27					
28					
Contenido de Humedad S4B					
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Pieza 3	Tapa 2	
16.3	14.1%	15.7%	15.4%	13.8%	
Pieza 4	Patin Superior		Patin Inferior		
15.7%	14.2%		13.5%		
Ancho de la probeta (mm)		Altura de la probeta (mm)		Distancia de la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	
b		h		a	
70		180		940	
Longitud de la probeta (mm)					
L					
3000					
TIPO DE ADHESIVO			MUF 1242		
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)			2.5		
TIEMPO DE PENSADO			18 HORAS		
TIEMPO DE FRAGUADO			6 DIAS		
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN					
					
MODULO DE RUPTURA					
Sr (kgf/cm ²)		303.18			
Sr (N/mm ²)		29.73			
MODULO ELASTICO APARENTE					
Ef (kgf/cm ²)		288486.55			
Ef (N/mm ²)		28290.76			
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)					
Sf (N/mm ²)		28.16			

	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL			
	Viga Tipo	SSA	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato FEF VT-1A
	Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director : Arq. Jorge Enrique Lozano
	Fecha:	22-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO S1A				
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS
				$Sf = \frac{m_{ip} * c}{\sum I_{ST}}$ $SR = \frac{m * c}{\sum I_{cr}}$ $MOE = \frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN
	kgf	N	cm	mm
1	0	0.00	0	0
2	26.4	258.89	0.05	0.5
3	51.7	507.00	0.1	1
4	74.1	726.67	0.15	1.5
5	95.8	939.47	0.2	2
6	120.2	1178.75	0.25	2.5
7	144.87	1420.68	0.3	3
8	170.2	1669.09	0.35	3.5
9	191.2	1875.02	0.4	4
10	215.3	2111.36	0.45	4.5
11	241.2	2365.36	0.5	5
12	266	2608.56	0.55	5.5
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
Contenido de Humedad SSA				
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3
16.4%	13.9%	15.4%	14.3%	16.1%
Patín Superior		Patín Inferior		
14.3%		13.7%		
Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)	
b	h	a	L	
70	180	940	3000	
TIPO DE ADHESIVO		MUF 1242		
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)		2.5		
TIEMPO DE PENSADO		18 HORAS		
TIEMPO DE FRAGUADO		6 DIAS		
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN				
				
MODULO DE RUPTURA				
Sr (kgf/cm ²)	294.42			
Sr (N/mm ²)	28.87			
MODULO ELASTICO APARENTE				
Ef (kgf/cm ²)	261519.89			
Ef (N/mm ²)	25646.25			
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)				
Sf (N/mm ²)	28.87			

	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL				
	Viga Tipo	SSB	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	
				FEF VT-1A	
	Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :	
	Fecha:	22-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO S1A					
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS	
				$Sf = \frac{m_{ip} \times c}{\sum I_{ST}}$ $SR = \frac{m \times c}{\sum I_{cr}}$ $MOE = \frac{P a}{24 I \Delta} = 3L^2 - 2a^2$	
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	
	kgf	N	cm	mm	
	1	0	0.00	0	0
	2	23.8	233.40	0.05	0.5
	3	47.4	464.83	0.1	1
	4	70.13	687.74	0.15	1.5
	5	93.6	917.90	0.2	2
	6	117.8	1155.22	0.25	2.5
	7	142.5	1397.44	0.3	3
	8	166.87	1636.43	0.35	3.5
	9	192.27	1885.52	0.4	4
	10	216.8	2126.07	0.45	4.5
	11	241.78	2371.04	0.5	5
	12	266.8	2616.40	0.55	5.5
	13	290.98	2853.53	0.6	6
	14	315.33	3092.32	0.65	6.5
	15	339.17	3326.11	0.7	7
	16	362.8	3557.84	0.75	7.5
	17	386.67	3791.92	0.8	8
	18				
	19				
	20				
	21				
	22				
	23				
	24				
	25				
	26				
27					
28					
Contenido de Humedad SSB					
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3	
16.3%	13.8%	15.5%	14.3%	15.6%	
Patin Superior		Patin Inferior			
13.7%		13.4%			
Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)		
b	h	a	L		
70	180	940	3000		
TIPO DE ADHESIVO		MUF 1242			
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)		2.5			
TIEMPO DE PENSADO		18 HORAS			
TIEMPO DE FRAGUADO		6 DIAS			
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN					
					
MODULO DE RUPTURA					
Sr (kgf/cm ²)	358.11				
Sr (N/mm ²)	35.12				
MODULO ELASTICO APARENTE					
Ef (kgf/cm ²)	286827.89				
Ef (N/mm ²)	28128.10				
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)					
Sf (N/mm ²)	32.78				

	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL																																																																																																																																																								
	Viga Tipo	S6A	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																																																																																																																																																				
	Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano																																																																																																																																																				
	Fecha:	22-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																																																																																																																																					
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO S1A																																																																																																																																																								
ESQUEMA DEL ENSAYO 		FOTOGRAFIA ENSAYO 		FORMULAS UTILIZADAS $Sf = \frac{m_{ip} * c}{\sum I_{ST}}$ $SR = \frac{m * c}{\sum I_{CT}}$ $MOE = \frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$																																																																																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">LECTURA</th> <th>CARGA</th> <th>CARGA</th> <th>DEFORMACIÓN</th> <th>DEFORMACIÓN</th> </tr> <tr> <th>kgf</th> <th>N</th> <th>cm</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>22.3</td><td>218.69</td><td>0.05</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>3</td><td>42.7</td><td>418.74</td><td>0.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>62.8</td><td>615.86</td><td>0.15</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>82.4</td><td>808.06</td><td>0.2</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>102.801</td><td>1008.13</td><td>0.25</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>124.01</td><td>1216.12</td><td>0.3</td><td>3</td></tr> <tr><td>8</td><td>144.5</td><td>1417.06</td><td>0.35</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>9</td><td>163.8</td><td>1606.32</td><td>0.4</td><td>4</td></tr> <tr><td>10</td><td>184.2</td><td>1806.38</td><td>0.45</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>11</td><td>203.9</td><td>1999.57</td><td>0.5</td><td>5</td></tr> <tr><td>12</td><td>223.87</td><td>2195.41</td><td>0.55</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>13</td><td>244.13</td><td>2394.09</td><td>0.6</td><td>6</td></tr> <tr><td>14</td><td>264.9</td><td>2597.77</td><td>0.65</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>15</td><td>284.4</td><td>2789.00</td><td>0.7</td><td>7</td></tr> <tr><td>16</td><td>303.71</td><td>2978.37</td><td>0.75</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>17</td><td>320.47</td><td>3142.73</td><td>0.8</td><td>8</td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>					LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	kgf	N	cm	mm	1	0	0.00	0	0	2	22.3	218.69	0.05	0.5	3	42.7	418.74	0.1	1	4	62.8	615.86	0.15	1.5	5	82.4	808.06	0.2	2	6	102.801	1008.13	0.25	2.5	7	124.01	1216.12	0.3	3	8	144.5	1417.06	0.35	3.5	9	163.8	1606.32	0.4	4	10	184.2	1806.38	0.45	4.5	11	203.9	1999.57	0.5	5	12	223.87	2195.41	0.55	5.5	13	244.13	2394.09	0.6	6	14	264.9	2597.77	0.65	6.5	15	284.4	2789.00	0.7	7	16	303.71	2978.37	0.75	7.5	17	320.47	3142.73	0.8	8	18					19					20					21					22					23					24					25					26					27					28				
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN																																																																																																																																																					
	kgf	N	cm	mm																																																																																																																																																					
1	0	0.00	0	0																																																																																																																																																					
2	22.3	218.69	0.05	0.5																																																																																																																																																					
3	42.7	418.74	0.1	1																																																																																																																																																					
4	62.8	615.86	0.15	1.5																																																																																																																																																					
5	82.4	808.06	0.2	2																																																																																																																																																					
6	102.801	1008.13	0.25	2.5																																																																																																																																																					
7	124.01	1216.12	0.3	3																																																																																																																																																					
8	144.5	1417.06	0.35	3.5																																																																																																																																																					
9	163.8	1606.32	0.4	4																																																																																																																																																					
10	184.2	1806.38	0.45	4.5																																																																																																																																																					
11	203.9	1999.57	0.5	5																																																																																																																																																					
12	223.87	2195.41	0.55	5.5																																																																																																																																																					
13	244.13	2394.09	0.6	6																																																																																																																																																					
14	264.9	2597.77	0.65	6.5																																																																																																																																																					
15	284.4	2789.00	0.7	7																																																																																																																																																					
16	303.71	2978.37	0.75	7.5																																																																																																																																																					
17	320.47	3142.73	0.8	8																																																																																																																																																					
18																																																																																																																																																									
19																																																																																																																																																									
20																																																																																																																																																									
21																																																																																																																																																									
22																																																																																																																																																									
23																																																																																																																																																									
24																																																																																																																																																									
25																																																																																																																																																									
26																																																																																																																																																									
27																																																																																																																																																									
28																																																																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ancho de la probeta (mm)</th> <th>Altura de la probeta (mm)</th> <th>Distancia de la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)</th> <th>Longitud de la probeta (mm)</th> </tr> <tr> <td>b</td> <td>h</td> <td>a</td> <td>L</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>70</td> <td>180</td> <td>940</td> <td>3000</td> </tr> </tbody> </table>					Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distancia de la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)	b	h	a	L	70	180	940	3000																																																																																																																																									
Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distancia de la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)																																																																																																																																																						
b	h	a	L																																																																																																																																																						
70	180	940	3000																																																																																																																																																						
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>TIPO DE ADHESIVO</td> <td>MUF 1242</td> </tr> <tr> <td>PRESION DE PENSADO (kg/cm2)</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE PENSADO</td> <td>18 HORAS</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE FRAGUADO</td> <td>6 DIAS</td> </tr> </tbody> </table>					TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242	PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	2.5	TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																													
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																																																																																																																																																								
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	2.5																																																																																																																																																								
TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS																																																																																																																																																								
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																								
<p style="text-align: center;">GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN</p> 																																																																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MODULO DE RUPTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sr (kgf/cm²)</td> <td>357.41</td> </tr> <tr> <td>Sr (N/mm²)</td> <td>35.05</td> </tr> <tr> <th colspan="2">MODULO ELASTICO APARENTE</th> </tr> <tr> <td>Ef (kgf/cm²)</td> <td>264632.29</td> </tr> <tr> <td>Ef (N/mm²)</td> <td>25951.47</td> </tr> <tr> <th colspan="2">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</th> </tr> <tr> <td>Sf (N/mm²)</td> <td>34.56</td> </tr> </tbody> </table>					MODULO DE RUPTURA		Sr (kgf/cm ²)	357.41	Sr (N/mm ²)	35.05	MODULO ELASTICO APARENTE		Ef (kgf/cm ²)	264632.29	Ef (N/mm ²)	25951.47	ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)		Sf (N/mm ²)	34.56																																																																																																																																					
MODULO DE RUPTURA																																																																																																																																																									
Sr (kgf/cm ²)	357.41																																																																																																																																																								
Sr (N/mm ²)	35.05																																																																																																																																																								
MODULO ELASTICO APARENTE																																																																																																																																																									
Ef (kgf/cm ²)	264632.29																																																																																																																																																								
Ef (N/mm ²)	25951.47																																																																																																																																																								
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																																																																																																																																																									
Sf (N/mm ²)	34.56																																																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Contenido de Humedad S6A</th> </tr> <tr> <th>Pieza 1</th> <th>Tapa 1</th> <th>Pieza 2</th> <th>Tapa 2</th> <th>Pieza 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14.2%</td> <td>13.8%</td> <td>15.3%</td> <td>14.4%</td> <td>15.5%</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Patin Superior</td> <td colspan="3">Patin Inferior</td> </tr> <tr> <td colspan="2">13.5%</td> <td colspan="3">14%</td> </tr> </tbody> </table>					Contenido de Humedad S6A					Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3	14.2%	13.8%	15.3%	14.4%	15.5%	Patin Superior		Patin Inferior			13.5%		14%																																																																																																																														
Contenido de Humedad S6A																																																																																																																																																									
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3																																																																																																																																																					
14.2%	13.8%	15.3%	14.4%	15.5%																																																																																																																																																					
Patin Superior		Patin Inferior																																																																																																																																																							
13.5%		14%																																																																																																																																																							

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA (PINUS RADIATA) PARA USO ESTRUCTURAL					
Viga Tipo	S6B	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279		Formato	FEF VT-1A
Profesional:	Arq. Andrés Felipe Guzmán		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano	
Fecha:	22-nov-17	Maestría en Construcción		Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO S1A					
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS	
				$Sf = \frac{m_{ip} \cdot c}{\sum I_{ST}}$ $SR = \frac{m \cdot c}{\sum I_{cr}}$ $MOE = \frac{P \cdot a}{24 I \Delta} \cdot 3L^2 - 2a^2$	
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	
	kgf	N	cm	mm	
1	0	0.00	0	0	
2	23.4	229.47	0.05	0.5	
3	47.8	468.76	0.1	1	
4	70	686.46	0.15	1.5	
5	89.8	880.63	0.2	2	
6	110.8	1086.57	0.25	2.5	
7	132.8	1302.32	0.3	3	
8	154.6	1516.10	0.35	3.5	
9	176.47	1730.57	0.4	4	
10	198.4	1945.63	0.45	4.5	
11	218.6	2143.73	0.5	5	
12	238.57	2339.56	0.55	5.5	
13	258.4	2534.03	0.6	6	
14	277.2	2718.39	0.65	6.5	
15	299.8	2940.02	0.7	7	
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
Contenido de Humedad S6B					
Pieza 1	Tapa 1	Pieza 2	Tapa 2	Pieza 3	
15.7%	15.2%	15.8%	14.3%	16.4%	
Patin Superior		Patin Inferior			
13.7%		14.3%			
Ancho de la probeta (mm)	Altura de la probeta (mm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (mm)	Longitud de la probeta (mm)		
b	h	a	L		
70	180	940	3000		
TIPO DE ADHESIVO		MUF 1242			
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)		2.5			
TIEMPO DE PENSADO		18 HORAS			
TIEMPO DE FRAGUADO		6 DIAS			
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACION					
MODULO DE RUPTURA					
Sr (kgf/cm²)	241.14				
Sr (N/mm²)	23.65				
MODULO ELASTICO APARENTE					
Ef (kgf/cm²)	279223.97				
Ef (N/mm²)	27382.42				
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)					
Sf (N/mm²)	18.86				

