



## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO (FLEXIÓN) EN VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON PINO RADIATA

### STUDY OF THE MECHANICAL BEHAVIOUR (FLEXION) IN REUSED BEAMS BONDED WITH RADIATA PINE (PINUS RADIATA) FOR STRUCTURAL USE

Guzmán, Andrés (1) \*; Lozano, Jorge (2)

(1) Magister en Construcción Arquitecto. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia

(2) Magister en Construcción Arquitecto. Facultad de Artes, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia  
Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Grupo de Investigación Madera y Guadua. Bogotá, Colombia

\* Contacto: anfguzmango@unal.edu.co

CÓDIGO: 4619987

#### Resumen

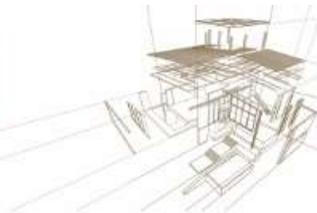
Esta investigación abordó la reutilización de diferentes tipos de madera de salvamento, que podemos encontrar en las edificaciones que se demuelen o que son desmontadas para hacer parte fundamental de nuevos elementos estructurales (Vigas). Estos elementos están unidos con Pino Radiata (*Pinus Radiata*) y ensamblados utilizando el 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 prototipos de 3 metros de longitud, comprobando el comportamiento estructural de los ensambles IPE propuestos. Además, durante estos ensayos se probaron los requisitos de máxima deformación admisible de la norma sismo resistente colombiana (NSR-10), detectando que entre menos piezas en el alma se utilicen es mayor la resistencia del sistema. Se evidenció también una falla frágil al finalizar los ensayos debido a la ruptura de las fibras del patín inferior de Pino Radiata, por el esfuerzo de tracción inducido por la carga, similar a elementos de madera de una sola pieza. Adicionalmente se obtuvieron valores MOEg y MOEA que están dentro del nivel ES1 de la tabla de maderas estructurales de la NSR-10, avalando el posible uso de estos elementos en sistemas constructivos, lo que amplía las opciones para construir edificaciones de bajo costo y contribuye a continuar el ciclo de vida de estos materiales reutilizados, 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 addressed the reuse of different types of salvage wood, which we can find in buildings that are demolished or that are dismantled to become a fundamental part of new structural elements (Beams). These elements are joined with Pine Radiate (*Pinus Radiata*) and assembled using the Melanin Urea Formaldehyde adhesive (MUF - 1242) of the structural glulam system (GLULAM), where by means of the standardized bending test (ASTM D198 – NTC 5279), it is conducted tests on prototypes of 3 meters in length, checking the structural behavior of the proposed IPE assemblies. In addition, during these tests the requirements of maximum permissible deformation of the Colombian Resistant Earthquake Standard (NSR-10) were tested, detecting that the fewer parts in the web are used, the resistance of the system is more. A fragile failure was also evident at the end of the tests due to the rupture of the lower flange fibers of Pine Radiate, due to the tensile effort induced by the load, similar to wooden elements in one piece. In addition, MOEg and MOEA values were obtained that are within the ES1 level of the NSR-10 structural timber table, endorsing the possible use of these elements in construction systems, which expands the options for building low-cost buildings and helps to continue the life cycle of these reused materials, so that they are an important part of the value chain of industry, the environment and society.

*Keywords: adhesive, beams, structure, wood, pine, reuse, deconstruction.*



## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día las respuestas al déficit de vivienda, al cambio climático y a la inestabilidad del sector de la construcción en Colombia, 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, cuáles elementos pueden ser reutilizados, unidos y puestos nuevamente en uso que sean económicos, estéticos y técnicamente viables.

Por esto, durante el desmonte y cambio de la cubierta del edificio 238 (Posgrados de ciencias económicas) de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, se planteó la idea de reciclar estas vigas de madera que han estado protegidas de las diferentes condiciones medio ambientales, ser reutilizadas y unidas con elementos nuevos de Pino Radiata (*Pinus Radiata*), ensamblados por medio del adhesivo Melamina Urea Formaldehído (MUF), el cual es ampliamente utilizado en los sistemas de Madera Laminada de Pegada Estructural (MLPE), buscando prototipos de 3 metros de longitud que sean evaluados mediante el ensayo normalizado a flexión (ASTM D198 – NTC 5279), comprobando su correcto armado, encolado y luego obtener los valores de resistencia que permita avalar su uso según la NSR-10 y además ser comparadas con respecto a las resistencias que posee el Pino Radiata.

## 2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron 3 materias primas en 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 Formaldehido (MUF-1242) con su respectivo catalizador, HARDENER 2542. Adicionalmente fue necesario realizar procesos de Maquinado para obtener las piezas antes mencionadas y así poder generar los insumos para los 6 tipos de ensambles evaluados mediante el ensayo normalizado a flexión (ASTM D198 – NTC 5279).

### 2.1. Acopio del Material

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 vigas.

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.



### 2.1.1. Caracterización Visual y Macroscópica del Material

Para el desarrollo de la investigación es necesario caracterizar los elementos reciclados ya que se desconoce el origen del material, las condiciones a las cuales estuvo expuesto y las diferentes afectaciones de coleópteros. Por esto fue necesario realizar un formato 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 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica 2010), y en las consideraciones que están contempladas en la NTC 2500 (Uso de la madera en la construcción) (ICONTEC 1997), los cuales nos indican cómo 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. Asimismo, se recopilieron pequeñas muestras de cada uno de los elementos para obtener mayor información sobre las propiedades físicas y mecánicas de las posibles especies y para ello se utilizó el microscopio donde se hallaron especies como Cuangaré, Platanote, Laurel, Sangretoro, Eucalipto, Comino, Amarillo y Perillo (Junta del Acuerdo de Cartagena 1982). Toda la información recopilada se consignó en un formato diseñado para la caracterización macroscópica de los elementos a utilizar.



Figura 1: Formato Caracterización Visual y Formato Caracterización macroscópica

### 2.2. Determinación de los Tipos de Ensamblajes y Dimensiones de las Vigas

Para determinar los tipos de ensamble de los diferentes prototipos, se inició con 2 elementos de 2.600 mm y se fue dividiendo en rangos de  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  y  $\frac{1}{4}$  de la longitud total hasta conseguir la subdivisión mínima que permitiera generar ensambles fáciles de realizar y ejecutar 2 ensayos por cada uno, para 12 ensayos en total. En los 400 mm faltantes, la solución fue incorporar piezas de Pino Radiata con dimensiones de los elementos del alma con el fin de completar los 3 metros del elemento para cumplir con lo que dicta el ensayo normalizado a flexión ASTM D-146.

NOMENCLATURA	# PIEZAS EN EL ALMA	ESQUEMA GRÁFICO
S1A - S1B	1 Pieza	
S2A - S2B	2 Piezas	
S3A - S3B	3 Piezas	
S4A - S4B	4 Piezas	
S5A - S5B	3 Piezas	
S6A - S6B	3 Piezas	

Figura 2: Tipos de ensambles y despiece gráfico



### **2.3. Maquinado de las Piezas**

Para la fabricación de las piezas de madera reciclada que se ubican en el alma de las vigas IPE, el proceso se inició con la extracción manual de los clavos, puntillas, accesorios metálicos y demás elementos que estaban embebidos en las piezas, luego se retiraron las diferentes afectaciones de agentes medio ambientales que se detectaron en la caracterización visual de los elementos, a continuación se aplanaron 2 caras de las piezas con la planeadora eléctrica, se procedió a pasar la cara faltante por el cepillo eléctrico hasta alcanzar los 35mm de espesor y para finalizar se procedió a retirar, por medio de la sierra de banco plano, la cara faltante para terminar de definir las 4 caras de la pieza y así tener los insumos 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.

Para la Fabricación de los patines de Pino Radiata en las vigas IPE, el proceso se inició con el corte con la sierra de banco plano de las láminas de Pino Radiata (*Pinus Radiata*) de dimensiones 19mm de espesor y 70mm de ancho, en acto seguido se sometieron a un cepillado por ambas caras para obtener elementos de 10mm de espesor, 70mm de ancho, con el fin de dejar el material dimensionado para aplicación del adhesivo, asegurando un buen encolado. Se continuó con la fabricación de los bloques, utilizando la sierra de banco plano, luego se pasaron por la planeadora, por el cepillo eléctrico y se finalizó con el corte de los elementos de 35mm de espesor, 160mm de alto y 200 mm de longitud con la sierra Tronzadora. Finalmente, para la elaboración de los elementos de unión, se utilizó la sierra Tronzadora para dimensionar las tablas en piezas de 19mm de espesor, 160mm de ancho y 50mm de longitud que se anclaron con grapas industriales al alma de los prototipos.

### **2.4. 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 partes según diversas condiciones; el tipo de madera, el tipo de ensamble y los puntos en las vigas donde se va a ejercer la carga. Se procedió a la ubicación definitiva de las piezas y fueron ancladas utilizando piezas de pino radiata y el uso de grapas metálicas industriales, dichos elementos solo se utilizaron para el ensamble de la viga y no están diseñados para transferir cargas, esto es realizado por ambas caras de la viga buscando una rigidez óptima para el traslado durante el proceso de encolado. Este proceso se realizó manualmente para garantizar la aplicación uniforme a lo largo del elemento, utilizando la proporción 100:15 partes por peso de las sustancias MUF y HARDENER según la ficha técnica y es la misma que se tuvo como referencia en un trabajo de investigación acerca de laminados de teca (Barreto 2013). Finalmente se inició el proceso de Prensado que para estos elementos se realizó con presión continua de 2.5kg/cm<sup>2</sup> por 10 horas (Quevedo 2000; Aenor 2005), que al finalizar fue necesario dejar durante 6 días las vigas en el curado del adhesivo para evitar reducir la resistencia de la línea de cola con cualquier afectación externa.

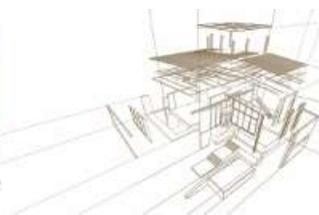


Figura 3: Producto terminado (Viga S3A)

## 2.5. 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,  $cortante_{max}$ ,  $cortante_{lp}$ ,  $momento_{max}$ ,  $momento_{lp}$ , inercia, ductilidad y el esfuerzo de la fibra en el límite proporcional (tracción y compresión).

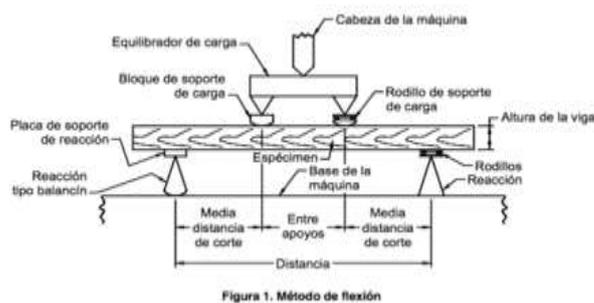


Figura 4: Esquema y Montaje Modelo de Ensayo ASTM D198-NTC 5279 (ICONTEC 2004)

Antes de iniciar los ensayos, cada una de las vigas debió ser sometida a la toma del contenido de humedad de cada pieza que conforma el elemento, la marcación de los lugares donde se apoyará la viga y de los tercios donde se efectuarán la aplicación de las cargas y el correcto montaje según el diagrama de la NTC 5279 (ICONTEC 2004), se determinó que la luz entre los apoyos corresponde a 2820 mm dejando libre 90 mm en cada extremo.

## 3. RESULTADOS

Los ensayos fueron realizados hasta el punto de ruptura del elemento, se evidenció que la falla es frágil y fue iniciada por el desplazamiento de los bloques 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 continuó hasta romper las fibras del patín superior donde en algunos elementos se evidenció un desprendimiento del material por la línea de cola sin afectar los elementos internos de madera reciclable.

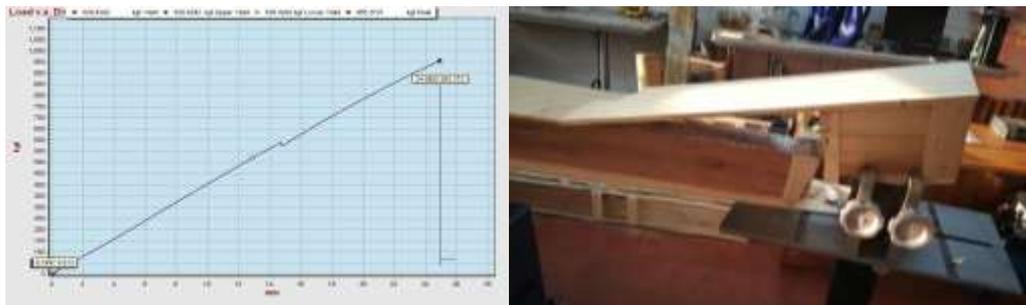


Figura 5: Gráfica del ensayo y evidencia fotográfica de la falla frágil

Como resultado de los ensayos se obtuvo información gráfica y numérica necesaria para hallar los distintos valores de cortante, momento, deflexión e inercia de la sección transformada, todos ellos son la base fundamental para hallar los valores de esfuerzo de la fibra en el límite proporcional, módulo de ruptura y módulo elástico con el fin de poder comparar los resultados con los valores de diseño asumidos por parte de la NSR-10 para el Pino Radiata.

Algo importante que se realizó en el desarrollo de la investigación fue la modelación de los diferentes ensambles en SAP2000, debido a que las piezas son de especies recicladas y en ocasiones no se encuentran caracterizadas ni forman un elemento homogéneo, se realizó 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.

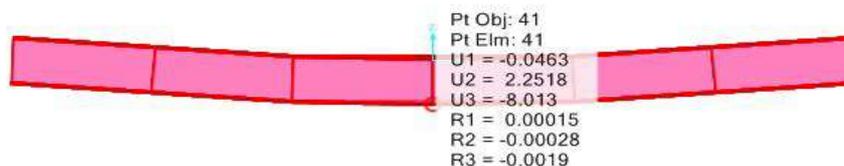
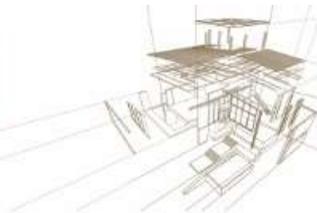


Figura 6: Cálculo de la deflexión y MOE por medio de elementos finitos

Con estos valores se realizó el cálculo del coeficiente n para afectar el ancho de las piezas de madera reciclada y así hallar la inercia de cada pieza interna, las cuales se sumaron para establecer el valor definitivo de la inercia de cada elemento ensayado, adicionalmente se calcularon los valores en las piezas de Pino Radiata.

Tabla 1: Fórmulas de Inercia utilizadas para madera reciclada y pino radiata

Tipo de Pieza	Fórmula	donde:
$I$ (Pino Radiata)	$I_{ST} = \frac{b_{PR} * h_{PR}^3}{12} + 3A_1 * 2a^2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>b_{PR}</math>= Ancho pieza de pino</li> <li>▪ <math>h_{PR}</math>= Alto pieza de pino</li> <li>▪ <math>A</math>= Área de la pieza</li> <li>▪ <math>a</math>= centro geométrico al eje neutro</li> <li>▪ <math>b_A</math>= Ancho pieza del alma</li> <li>▪ <math>h_A</math>= Alto pieza del alma</li> </ul>
$I$ (Madera Reciclada)	$I_{ST} = \frac{b_A * h_A^3}{12}$	



### 3.1. Cálculo del Esfuerzo de la Fibra en el Límite Proporcional (Compresión y Tensión)

Para determinar el valor característico del esfuerzo de la fibra en el límite proporcional se utilizó la ecuación:

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

donde:

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

Al realizar cada uno de los cálculos podemos denotar que tenemos un promedio de 28.52 MPa, donde la desviación estándar es baja debido a que los valores no tienen una alta dispersión, se encuentra que el valor mínimo aceptable y el máximo aceptable son 16.59 MPa y 40.45 MPa respectivamente. Y al contrastar estos valores con los del resultado encontramos que no hay ningún dato atípico y concluimos que el coeficiente de variación esté en 20.61%, lo que nos lleva a determinar que el valor característico tanto para tensión como para compresión es 16.27 MPa.

### 3.2. Cálculo del Módulo de Ruptura (Compresión y Tensión)

Para determinar el valor característico del módulo de ruptura se utilizó la ecuación:

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

donde:

- $m$  = Momento en la carga máxima,
- $c$  = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada,
- $\sum I_{ST}$  = Inercia de la viga.

Se evidenció 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 y no cambia su estado; en algunos prototipos se presentó inicialmente un desprendimiento de la línea de cola generando un desplazamiento de las piezas internas permitiendo una deformación mayor, un corto estado inelástico y por ende una resistencia mayor hasta su falla. Se evidenció que el esfuerzo último promedio es 29.59 MPa, el valor mínimo aceptable y el máximo aceptable son 18.59 MPa y 40.58 MPa respectivamente, y al contrastar estos valores con los del resultado encontramos que el coeficiente de variación está en 18.31%, permitiendo deducir que el valor característico de estas vigas es 18.68 MPa, mayor que el esfuerzo de la fibra en el límite proporcional

### 3.3. 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 la ecuación del método analítico:

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

donde:

- 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.

Encontramos que el esfuerzo ultimo promedio que es 27,256.87 MPa, el valor mínimo aceptable y el máximo aceptable son 22,841.34 y 31,672.40 respectivamente y al contrastar estos valores con los del resultado encontramos que el coeficiente de variación está en 7.98% para concluir que el valor característico de los elementos, según el método analítico es 22,704.81 MPa, reflejando que la resistencia de estos elementos compuestos 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)

### 3.4. Comparación de Resultados Frente al Pino Radiata (*Pinus Radiata*)

Para realizar la comparación entre los resultados obtenidos se tomaron los que se obtuvieron en el esfuerzo de la fibra en el límite proporcional ( $Sf_t$ ) y en el módulo de elasticidad analítico ( $MOE_A$ )

Tabla 2: Comparación entre los datos obtenidos y los del pino radiata

Investigación Actual			Pino Radiata		
Ensayo	Formula	Resultado	Ensayo	Formula	Resultado
$Sf_t$ (Tensión)	$Sf = \frac{m_{lp} * c}{\sum I_{ST}}$	16.27 MPa	$Sf_t$ (Tensión)	$Sf = \frac{m_{lp} * c}{\sum I_{ST}}$	13.20 MPa
$Sf_C$ (Compresión)	$Sf = \frac{m_{lp} * c}{\sum I_{ST}}$	16.27 MPa	$Sf_C$ (Compresión)	$Sf = \frac{m_{lp} * c}{\sum I_{ST}}$	7.9 MPa
$SR_T$ (Tensión)	$S_R = \frac{m * c}{\sum I_{ST}}$	18.68 MPa	$SR_T$ (Tensión)	$S_R = \frac{m * c}{\sum I_{ST}}$	7.5 MPa
$SR_C$ (Compresión)	$S_R = \frac{m * c}{\sum I_{ST}}$	18.68 MPa	$SR_C$ (Compresión)	$S_R = \frac{m * c}{\sum I_{ST}}$	7.5 MPa
$MOE_A$	$\frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$	22704 MPa	$MOE_A$	$\frac{P a}{24 I \Delta} * 3L^2 - 2a^2$	11000 MPa

En esta tabla podemos apreciar que el valor característico del esfuerzo máximo de la fibra en el límite proporcional a tensión ( $Sf_T$ ) y a compresión ( $Sf_C$ ) de nuestro elemento



compuesto es 16.27 MPa y según la NSR-10, el valor característico del pino radiata para  $Sf_T$  está en 13.20 MPa y para  $Sf_C$  es de 7.9 MPa, asimismo se observa que los valores característicos del módulo de ruptura a tensión ( $SR_T$ ) y a compresión ( $SR_C$ ) del elemento compuesto es de 18.68 MPa, y según la NSR-10, el valor característico del Pino Radiata es de 7.5 MPa, esto indica que la resistencia es mayor en el elemento compuesto principalmente debido a que las piezas están unidas por medio del adhesivo, en donde la línea de cola nos proporciona más resistencia durante la prueba a flexión. Adicionalmente se evidenció que el valor característico  $MOE_A$  es 22.704 MPa y según la NSR-10 el valor característico del Pino Radiata está en 11.000 MPa, con este sistema propuesto se aumenta el MOE de los elementos, por lo tanto, tienen mayor rigidez y bajo la misma condición de esfuerzos se deforma menos.

#### 4. CONCLUSIONES

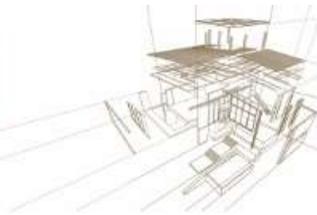
Al realizar la comparación de los datos promedio del  $MOE_A$  de las vigas ensayadas, se evidenció una variación de 3000 MPa aproximadamente, lo cual nos permite observar que los valores de diseño asumidos a pesar de la reducción del valor característico en el método analítico, continúan dentro de los valores de diseño asumidos de las maderas estructurales selectas ES1. Por esto confirmamos que utilizando una madera del grupo de madera selecta ES6 en un sistema compuesto como el propuesto para esta investigación, se puede obtener una mejora sustancial en la resistencia del material.

Al término de los experimentos se observó que entre menos piezas sean utilizadas en el alma, mayor es la resistencia del elemento, por esto el ensamble más adecuado se obtiene con solo 2 uniones (S1A y S1B), debido a que los datos analizados tienen menor dispersión y más fiables 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 y sus bajas resistencias.

La falla principal de los elementos fue 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.

En algunos casos se presentó un desprendimiento por la línea de cola en donde el adhesivo no fue aplicado uniformemente. Es necesario mejorar el control de calidad para el maquinado y el encolado, ya que esto reduce la resistencia del elemento compuesto. Adicionalmente se ve afectada por que las piezas internas de las vigas al ser independientes se desplazan por la carga ejercida que induce un esfuerzo de corte en la línea de cola y en las láminas de Pino Radiata.

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.



Se puede concluir de manera general que estos elementos pueden ser utilizados en edificaciones con sistemas estructurales en madera, donde 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 por cualquier persona con conocimientos básicos de estructuras, con el fin de responder en caso de eventos catastróficos o resolver las necesidades básicas de vivienda para cualquier persona.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa su total agradecimiento a la Universidad Nacional de Colombia, al Grupo de Investigación Madera y Guadua (GIMG) por permitir utilizar las instalaciones necesarias y sus aportes profesionales para el desarrollo de esta investigación, así como a los organizadores de este evento tan importante para el sector en América Latina.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aenor. (2005). Adhesivos para madera de uso estructural. UNE-EN 302-4.
- Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica (2010). Norma colombiana de diseño y construcción sismo-resistente, NSR-10. Bogotá, AIS.
- Barreto Castañeda, 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. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- ICONTEC. (1997). NTC 2500 Ingeniería civil y arquitectura uso de la madera en la construcción. Bogotá.
- ICONTEC. (2004). NTC 5279 Método de ensayos estáticos para maderas en tamaños estructurales, 48. Bogotá.
- 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 Tecnología*, v.9 n.3, p. 223–232.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (1982). Manual de diseño para maderas del Grupo andino. Lima.
- Quevedo, V. (2000). Adherencia y adhesivos para madera. Seminario Materiales de nueva generación y materiales eficientes.