



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDA CON BAMBÚ (*Guadua angustifolia kunth*) PARA USO ESTRUCTURAL

Andrés Felipe Guerra Riaño

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes

Maestría en Construcción

Bogotá D.C., Colombia

2017

COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDA CON BAMBÚ (*Guadua angustifolia kunth*) PARA USO ESTRUCTURAL

Andrés Felipe Guerra Riaño

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Construcción

Director:

Arq. MSc. Jorge Enrique Lozano Peña

Línea de Investigación:

Materiales para Construcción

Grupo de Investigación:

Madera y Guadua Universidad Nacional de Colombia – GIMG

Centro de Investigación de Bambú y Madera - CIBAM

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes

Bogotá D.C., Colombia

2017

“For all the difficulty of philosophy seems to consist in this - from the phenomena of motions to investigate the forces of nature, and then from these forces to demonstrate the other phenomena-”

*Isaac Newton
Philosophiæ naturalis principia mathematica
(1687)*

Resumen

En busca de procedimientos sostenibles para la industria de la construcción, enfocados reducir la extracción de materias primas no renovables y la disminución del consumo energético a lo largo de su ciclo de vida, la reutilización de materiales desechados en procesos de demolición se ha consolidado como una alternativa a nivel global. En países donde la deconstrucción no es una práctica común y las estructuras no han sido diseñadas para permitir el desmonte y aprovechamiento de sus materiales, el proceso de recuperación de materias primas es más complejo ya que se deben realizar diferentes procesos para permitir su uso.

Los elementos laminados de madera unidos mediante adhesivos han sido muy utilizados en la industria de la construcción, los laminados híbridos permiten el uso de diferentes tipos de madera, que de acuerdo a sus propiedades mecánicas se ubican en sitios con diferentes solicitaciones optimizando el uso de materiales de mejor calidad y permitiendo el aprovechamiento de maderas reutilizadas o de menor calidad, que de acuerdo a una combinación eficiente logren las condiciones de resistencia y servicio exigidas en las normas de diseño vigentes.

En esta investigación se estudió el comportamiento mecánico de vigas compuestas por piezas de madera reutilizada obtenida en procesos de deconstrucción unidas con láminas de *Guadua angustifolia kunth* en la parte superior e inferior mediante el sistema de encolado prensado estructural, confinando la madera y asumiendo los mayores esfuerzos de tracción y compresión producidos por la flexión y el cortante. Para este propósito se realizaron ensayos según las normas ASTM D198 y NTC5279 que permitieron hallar parámetros mecánicos como el esfuerzo máximo de las fibras de *Guadua angustifolia kunth* en el límite proporcional, el módulo de rotura, el módulo de elasticidad y la ductilidad al desplazamiento. Como resultado se pudo determinar que el

comportamiento mecánico del sistema no está en función de la densidad de las piezas de madera, el contenido de humedad y tamaño, sino de la resistencia mecánica de las fibras de *Guadua angustifolia kunth* y la calidad de la línea de adhesivo. Así mismo se pudo determinar que las vigas tienen un comportamiento dúctil antes de llegar a la falla.

Palabras clave: Madera reutilizada, bambú, *Guadua angustifolia kunth*, vigas, construcción, sostenibilidad, deconstrucción.

Abstract

Looking for sustainable procedures for the construction industry, based on the reduction of extraction of non-renewable raw materials and the reduction of energy consumption throughout its life cycle, the reuse of discarded materials in demolition processes has established as an alternative on a global level. Bearing in mind that in countries where deconstruction is not a common practice and the structures have not been designed to allow the dismantling and after use of their materials, the process of recovering raw materials is more complex since different processes must be carried out to allow its use.

Laminated wooden elements joined by adhesives have been widely used in the construction industry, the hybrid laminates allow the use of different types of wood, which according to their mechanical properties are located in places with different loads, improving the use of materials of better quality and allowing the use of reused or lower quality woods, which according to an efficient combination achieve the conditions of resistance and service required in the current design standards.

This research studies the mechanical behavior of beams composed of pieces of reused wood obtained in deconstruction processes joined with *Guadua angustifolia kunth* sheets in the upper and lower part by means of the structural pressing glue system, through confining the wood, and assuming biggest stresses of traction and compression, produced by bending and shear efforts. For this purpose, the tests were carried out according to ASTM D198 and NTC5279 standards that allowed to find mechanical parameters such as the maximum stress of the *Guadua angustifolia kunth* fibers in the proportional limit, the modulus of rupture, the modulus of elasticity and the ductility to displacement. As a result, it could be determined that the mechanical behavior of the system is not a function of the density of the pieces of wood, the moisture content and size, but of the mechanical strength of the *Guadua angustifolia kunth* fibers and the

quality of the line of adhesive. Likewise, it was possible to determine that the beams have a ductile behavior before reaching the fault.

Keywords: Reused wood, bamboo, *Guadua angustifolia kunth*, beams, construction, sustainability, deconstruction.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	V
Lista de figuras.....	XI
Lista de tablas	XIV
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	17
Planteamiento del problema.....	21
1. Estado del arte.....	23
1.1 Deconstrucción y reutilización de materiales	23
1.2 Madera reutilizada para uso estructural	25
1.3 Madera laminada encolada.....	26
1.4 Bambú <i>Guadua angustifolia Kunth</i> en el sistema laminado estructural.....	29
1.5 Antecedentes.....	32
2. Metodología de la investigación.....	34
2.1 Obtención de la madera para ser reutilizada.....	34
2.2 Selección de madera para uso estructural	36
2.3 Preparación de madera seleccionada.....	38
2.4 Identificación macroscópica de las especies de madera seleccionada.	41
2.5 Obtención <i>Guadua angustifolia kunth</i>	52
2.6 Ensayos de contenido de humedad (CH) para el bambú <i>Guadua angustifolia Kunth</i> – NTC5525.....	54
2.7 Preparación de esterilla de bambú <i>Guadua angustifolia Kunth</i>	55
2.8 Ensamble de piezas de madera y <i>Guadua angustifolia Kunth</i>	57
2.9 Encolado y prensado de vigas.	61
2.10 Determinación del contenido de humedad de las piezas de madera reutilizada.....	63
2.11 Ensayos de flexión para madera en tamaños estructurales ASTM D198 - NTC5279.....	69
3. Cálculos y resultados	77
3.1 Curvas fuerza vs desplazamiento.	77
3.2 Esfuerzo cortante, momento flector y deflexión para la carga máxima.....	83
3.3 Esfuerzo cortante, momento flector y deflexión en el límite proporcional.	85
3.4 Modelación de vigas con el método de los elementos finitos para el cálculo de la constante de elasticidad en el alma <i>CE</i>	87
3.5 Cálculo de la ubicación del eje neutro y momento de inercia <i>I</i> de la sección.	88
3.6 Cálculo del esfuerzo máximo en la fibra en el límite proporcional <i>S_f</i>	91

3.7	Cálculo del módulo de ruptura S_R	93
3.8	Cálculo de módulo de elasticidad aparente E	94
3.8.1.1	Método gráfico para calcular E	94
3.8.1.1	Método analítico para calcular E	99
3.9	Cálculo de la ductilidad al desplazamiento $\mu\Delta$	100
4.	Análisis de resultados	102
4.1	Análisis estadístico de resultados.....	102
4.2	Relación entre el CH de las piezas de madera reutilizada y el comportamiento mecánico de las vigas.....	106
4.3	Relación entre el tamaño de las piezas de madera reutilizada y el comportamiento mecánico de las vigas	107
4.4	Relación entre la densidad de piezas de madera reutilizada y el comportamiento mecánico de las vigas	108
4.5	Tipos de falla.....	109
4.6	Análisis de la ductilidad.	113
5.	Conclusiones y recomendaciones	115
5.1	Conclusiones.....	115
5.2	Recomendaciones.....	120
6.	DISCUSIÓN.....	121
	Bibliografía	122
A.	Anexo: Formato Clasificación visual recepción de madera.	125
B.	Anexo: Formato Clasificación macroscópica.	132
C.	Anexo: Formato ensamble de vigas.	140
D.	Anexo: Formato ensayo de flexión.....	153

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Modelo de gestión de residuos de construcción	24
Figura 2. Ciclo del proceso de deconstrucción.....	24
Figura 3. Edificio Tamedia en Zúrich, Suiza.....	26
Figura 4. Anatomía del culmo de <i>Guadua angustifolia Kunth</i>	30
Figura 5. <i>Guadua Angustifolia Kunth</i> en el sistema laminado estructural.....	31
Figura 6. Edificio 238 - Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.	34
Figura 7. Edificio 239 - Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.	34
Figura 8. Proceso de recepción de la madera para ser reutilizada.....	36
Figura 9. Elemento de madera descartado para uso estructural.	37
Figura 10. Preparación de la madera seleccionada.	38
Figura 11. Acopio de madera seleccionada luego de retirar elementos metálicos y defectos.....	39
Figura 12. Planeado de piezas de madera.	39
Figura 13. Cepillado de piezas de madera.....	40
Figura 14. Corte con sierra de banco.....	40
Figura 15. Verificación de dimensiones de las piezas de madera.	41
Figura 16. Madera descartada durante el proceso de cepillado.	41
Figura 17. Muestras de las especies de madera reutilizada para caracterización macroscópica.	42
Figura 18. Proceso de identificación macroscópica.	42
Figura 19. <i>Otoba lehmanni</i>	42
Figura 20. <i>Hymatanthus articularis</i>	44
Figura 21. <i>Virola sebifera Aubl.</i>	44
Figura 22. <i>Billia rosea</i>	45
Figura 23. <i>Aniba perutilis Hemsl</i>	46
Figura 24. <i>Eucalyptus globulus</i>	47
Figura 25. <i>Ocotea sp. Aubl.</i>	48
Figura 26. <i>Nectandra purpurea (Ruiz & pav.) Mez</i>	49
Figura 27. <i>Lauraceae indeterminada</i>	51
Figura 28. <i>Couma macocarpa Barb. Rodr</i>	51
Figura 29. Obtención de la <i>Guadua Angustifolia Kunth</i>	53
Figura 30. Clasificación y corte de la <i>Guadua Angustifolia Kunth</i>	54
Figura 31. Secado de probetas en el horno.	55
Figura 32. Proceso de fabricación de esterilla de <i>Guadua Angustifolia Kunth</i>	56

Figura 33. Retiro del tejido parenquimático y ramas en la parte exterior de la <i>Guadua Angustifolia Kunth</i>	56
Figura 34. Ensamble de vigas.	57
Figura 35. Proceso de lijar uniones para garantizar uniformidad en la superficie de la viga	57
Figura 36. Esquema viga tipo 1.....	58
Figura 37. Esquema viga tipo 2.....	58
Figura 38. Esquema viga tipo 3.....	59
Figura 39. Esquema viga tipo 4.....	59
Figura 40. Esquema viga tipo 5.....	60
Figura 41. Esquema viga tipo 6.....	60
Figura 42. Úrea melamina formaldehído (MUF1442) y catalizador (Hardener 2542)	61
Figura 43. Encolado de vigas.....	61
Figura 44. Prensado de vigas.....	62
Figura 45. Curado de vigas	62
Figura 46. Mediciones de contenidos de humedad para la madera reutilizada.....	63
Figura 47. Esquema viga tipo 1.....	63
Figura 48. Esquema viga tipo 1.....	64
Figura 49. Esquema viga tipo 2.....	64
Figura 50. Esquema viga tipo 2.....	65
Figura 51. Esquema viga tipo 3.....	65
Figura 52. Esquema viga tipo 3.....	66
Figura 53. Esquema viga tipo 4.....	66
Figura 54. Esquema viga tipo 4.....	67
Figura 55. Esquema viga tipo 5.....	67
Figura 56. Esquema viga tipo 5.....	68
Figura 57. Esquema viga tipo 6.....	68
Figura 58. Esquema viga tipo 6.....	69
Figura 59. Ensayo método de flexión NTC5279	70
Figura 60. Comparador de caratula.....	71
Figura 61. Maquina universal de ensayo.....	71
Figura 62. Montaje ensayo de flexión.....	72
Figura 63. Ensayo de flexión viga G1A.....	72
Figura 64. Ensayo de flexión viga G1B.....	73
Figura 65. Ensayo de flexión viga G2A.....	73
Figura 66. Ensayo de flexión viga G2B.....	73
Figura 67. Ensayo de flexión viga G3A.....	74
Figura 68. Ensayo de flexión viga G3B.....	74
Figura 69. Ensayo de flexión viga G4A.....	74
Figura 70. Ensayo de flexión viga G4B.....	75
Figura 71. Ensayo de flexión viga G5A.....	75
Figura 72. Ensayo de flexión viga G5B.....	75
Figura 73. Ensayo de flexión viga G6A.....	76

Figura 74. Ensayo de flexión viga G6B.	76
Figura 75. Gráfico de carga (kgf) vs. Deformación (mm) viga G1A.	77
Figura 76. Gráfico de carga (kgf) vs. Deformación (mm) viga G1B.	77
Figura 77. Gráfico de carga (kgf) vs. Deformación (mm) viga G2A.	78
Figura 78. Gráfico de carga (kgf) vs. Deformación (mm) viga G2B.	79
Figura 79. Gráfico de carga (kgf) vs. Deformación (mm) viga G3A.	79
Figura 80. Gráfico de carga (kgf) vs. Deformación (mm) viga G3B.	80
Figura 81. Gráfico de carga (kgf) vs. Deformación (mm) viga G4A.	80
Figura 82. Gráfico de carga (kgf) vs. Deformación (mm) viga G4B.	81
Figura 83. Gráfico de carga (kgf) vs. Deformación (mm) viga G5A.	81
Figura 84. Gráfico de carga (kgf) vs. Deformación (mm) viga G5B.	82
Figura 85. Gráfico de carga (kgf) vs. Deformación (mm) viga G6A.	82
Figura 86. Gráfico de carga (kgf) vs. Deformación (mm) viga G6B.	83
Figura 87. Modelación de las vigas para análisis por el método de los elementos finitos.	87
Figura 88. Sección transformada.	89
Figura 89. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G1A.	95
Figura 90. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G1B.	96
Figura 91. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G2A.	96
Figura 92. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G2B.	96
Figura 93. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G3A.	97
Figura 94. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G3B.	97
Figura 95. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G4A.	97
Figura 96. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G4B.	98
Figura 97. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G5A.	98
Figura 98. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G5B.	98
Figura 99. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G6A.	99
Figura 100. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G6B.	99
Figura 101. Relación entre el CH y el comportamiento mecánico de las vigas.	106
Figura 102. Carga máxima vs tamaño máximo de las piezas de madera reutilizada. ...	107
Figura 103. Relación entre la cantidad de uniones, la carga máxima y el módulo de elasticidad de las vigas.	108
Figura 104. Relación entre la carga máxima y la densidad de la madera reutilizada. ...	108
Figura 105. Relación entre el modulo de elasticidad y la densidad de la madera reutilizada.	109
Figura 106. Falla en la línea de cola en los extremos de las vigas.	110
Figura 107. Deformación de las fibras de guadua sometidas a compresión.	110
Figura 108. Desplazamiento relativo entre piezas adyacentes.	111
Figura 109. Falla en la línea de cola de la parte superior de la viga.	111
Figura 110. Deformación de la viga durante el ensayo de flexión.	112
Figura 111. Falla por esfuerzos de tensión en la esterilla de la parte inferior y fallas en la línea de cola del patín inferior.	112
Figura 112. Gráfico de tipo de viga vs carga máxima y en el límite proporcional.	113
Figura 113. Gráfico de ductilidad del desplazamiento vs tipo de viga.	113

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Tolerancia de la madera aserrada de uso estructural	37
Tabla 2. Contenido de humedad de la <i>Guadua Angustifolia Kunth</i>	55
Tabla 3. Contenido de humedad viga G1A.	64
Tabla 4. Contenido de humedad viga G1B.	64
Tabla 5. Contenido de humedad viga G2A.	64
Tabla 6. Contenido de humedad viga G2B.	65
Tabla 7. Contenido de humedad viga G3A.	65
Tabla 8. Contenido de humedad viga G3B.	66
Tabla 9. Contenido de humedad viga G4A.	66
Tabla 10. Contenido de humedad viga G4B.	67
Tabla 11. Contenido de humedad viga G5A.	67
Tabla 12. Contenido de humedad viga G5B.	68
Tabla 13. Contenido de humedad viga G6A.	68
Tabla 14. Contenido de humedad viga G6B.	69
Tabla 15. Deflexiones admisibles en vigas NSR10	70
Tabla 16. Cortante para la carga máxima.	84
Tabla 17. Momento flector en la carga máxima.	84
Tabla 18. Cortante, momento y deflexión para la carga máxima.	85
Tabla 19. Cortante en el límite proporcional.	85
Tabla 20. Momento en el límite proporcional.	86
Tabla 21. Cortante, momento y deflexión en el límite proporcional.	86
Tabla 22. Constante de elasticidad del alma de las vigas.	88
Tabla 23. Valores del espesor del alma para la sección transformada.	89
Tabla 24. Ubicación del eje neutro de las vigas.	90
Tabla 25. Momento de inercia de las vigas.	91
Tabla 26. Esfuerzo máximo a tensión en la fibra en el límite proporcional.	92
Tabla 27. Esfuerzo máximo a compresión en la fibra en el límite proporcional.	92
Tabla 28. Módulo de ruptura para esfuerzos de tensión.	93
Tabla 29. Módulo de ruptura para esfuerzos de compresión.	94
Tabla 30. Módulo de elasticidad de las vigas E (MPa).	100
Tabla 31. Ductilidad al desplazamiento de las vigas.	101
Tabla 32. Valores máximos de Carga, cortante y momento flector.	103

Tabla 33. Carga, cortante y momento flector en el límite proporcional	103
Tabla 34. Análisis estadístico de S_f	104
Tabla 35. Análisis estadístico de S_R	104
Tabla 36. Análisis estadístico de módulo de elasticidad de las vigas.	105
Tabla 37. Resumen análisis estadístico de las propiedades mecánicas de las vigas. ...	106

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	$S_F = \frac{m_{lp} * c}{I}$
S_r	Módulo de ruptura	MPa	$S_R = \frac{m * c}{I}$
E	Módulo de Elasticidad	MPa	$\frac{P a}{24 I \Delta} * (3L^2 - 2a^2)$
P_{lp}	Carga en el Limite proporcional	N	
b	Base de la sección	mm	
h	Altura de la sección	mm	
v	Cortante	N	
v_{lp}	Cortante en el limite proporcional	N	
m	Momento	N*mm	
m_{lp}	Momento en el limite proporcional	N*mm	
I_{ST}	Inercia	mm ⁴	
n	Coeficiente de corrección		
Y	Eje neutro	mm	
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 desplazamiento	

Superíndices

Superíndice Término

n	Exponente, potencia
---	---------------------

Abreviaturas

Abreviatura Término

MLPE	Madera laminada Pegada Estructural
MUF	Melamina Urea Formaldehído
MOE - E	Modulo de Elasticidad
LCA	Evaluación del Ciclo de Vida

Introducción

Para reducir los impactos ambientales que genera la industria de la construcción se proponen diferentes alternativas controlando la extracción de materias primas no renovables y reduciendo la cantidad de desechos que se generan durante la construcción y la demolición de edificaciones que llegan al final de su vida útil. Una de estas opciones son los procesos de deconstrucción en los cuales los elementos que componen la edificación pueden ser desensamblados y reutilizados.

La reutilización de materiales de construcción es una práctica que consiste en la prolongación de la vida útil de los elementos recuperados, utilizándolos nuevamente sin que se requiera un proceso de transformación. Sin embargo, esta práctica se dificulta en construcciones que no fueron diseñadas para desensamblar sus elementos de manera fácil.

Los sistemas estructurales utilizados en la construcción de edificaciones de madera permiten desensamblar sus componentes de manera sencilla, ya que sus uniones se basan en elementos metálicos como clavos, tornillos, pasadores y pletinas. Sin embargo en una misma construcción se pueden recuperar piezas de madera de diferente especie, tamaño y calidad estructural.

En vista de la necesidad de buscar alternativas innovadoras para el aprovechamiento de la madera obtenida en procesos de construcción y demoliciones para reducir la explotación incontrolada de este recurso y contribuir a la reforestación de los bosques, el Centro de Investigación de Bambú y Madera (CIBAM) y el Grupo de Investigación Madera y Guadua (GIMG) de la Universidad Nacional de Colombia, centran sus esfuerzos en el estudio del comportamiento mecánico de elementos estructurales contruidos a partir de madera reciclada y reutilizada.

El objetivo general de esta investigación es determinar el comportamiento mecánico a flexión de vigas contruidas con piezas de madera reutilizada obtenida en procesos de deconstrucción, unidas y reforzadas con esterilla de bambú *Guadua angustifolia Kunth* mediante el sistema de laminado estructural prensado encolado, para lo cual se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Realizar ensayos de flexión a vigas de 3 m. contruidas con piezas de madera reutilizada unidas en la parte superior e inferior con bambú en el sistema laminado estructural prensado encolado, siguiendo los parámetros establecidos en la norma ASTM D198 - NTC5279.

- Hallar el esfuerzo de la fibra en el límite proporcional, el módulo de rotura, el módulo de elasticidad y la ductilidad al desplazamiento de las vigas estudiadas.
- Identificar el comportamiento que tiene la línea de adhesivo de las probetas al corte longitudinal inducido por un esfuerzo de flexión.
- Estudiar el comportamiento de la resistencia y el módulo de elasticidad de las vigas en función del número de piezas, el contenido de humedad promedio y la distribución de la madera reutilizada con diferentes densidades.

En este documento se describe el proceso de construcción de vigas de 3 m. de longitud, desde la transformación de la madera reutilizada hasta el proceso de encolado y prensado uniendo las piezas con esterilla de bambú.

Las vigas construidas se someten a un ensayo de flexión siguiendo los parámetros de las normas ASTM D198 y NTC5279. Para estudiar su comportamiento, se halla el esfuerzo de la fibra en el límite proporcional, el módulo de rotura, el módulo de elasticidad y la ductilidad al desplazamiento.

Así mismo, se estudia la resistencia y el módulo de elasticidad obtenido en los ensayos mecánicos en función del número de piezas, el contenido de humedad del elemento de madera en donde se genera la falla y la distribución de la madera reutilizada con diferentes densidades.

Planteamiento del problema

La industria de la construcción juega un papel decisivo en el desarrollo de las sociedades, teniendo en cuenta que de ella dependen los proyectos de vivienda, infraestructura, equipamientos y servicios públicos. Además, es protagonista en el sector económico mundial aportando en promedio un 10% del PIB global. Sin embargo, las prácticas actuales generan procesos de contaminación teniendo en cuenta que esta industria consume gran cantidad de recursos naturales y genera importantes volúmenes de desechos (Hernández, Alejandro, & Cardona, 2012)

El 28 de febrero de 2017, el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia emitió la resolución 0472 que reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición, en donde se establece que para enero de 2018 los grandes generadores de residuos de construcción y demolición deberán aprovechar un porcentaje superior al 2% en peso del total de los materiales usados en la obra, este porcentaje se incrementará en dos puntos cada año hasta alcanzar como mínimo un aprovechamiento del 30% de residuos en peso del total de los materiales usados en la construcción. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia, 2017)

Una alternativa para el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición es la reutilización, esta práctica consiste en la prolongación de la vida útil de los residuos recuperados utilizándolos nuevamente sin que se requiera un proceso de transformación. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia, 2017). En el ámbito global los métodos de reutilización se llevan a cabo en procesos de deconstrucción, recuperando materiales y elementos de construcción durante el desmonte o demolición de una edificación, esta práctica evita costos de disposición y tratamiento de residuos, además reduce los impactos ambientales generados en las etapas de extracción y procesamiento de materias primas. (Environmental Protection Agency United States, 2008)

La deconstrucción lleva implícitos varios beneficios medioambientales, sociales y económicos (Chini y Nguyen, 2003), en términos generales es más rentable que la demolición convencional si se considera la reducción en los costos de disposición final y los ingresos producidos por la venta de materiales recuperados (Guyand McLendon, 2000), así mismo tiene un aporte significativo en la generación de empleo promoviendo una industria que produce materiales de bajo costo y alta calidad.

Uno de los materiales más coherente con las prácticas de deconstrucción es la madera, teniendo en cuenta que los sistemas estructurales que se usan para las construcciones de madera son relativamente sencillos de desmontar ya que sus uniones se realizan con elementos metálicos como clavos, tornillos, pernos, pletinas y pasadores fáciles de retirar (Zabusova, 2014). Sin embargo, en países en que las construcciones no han sido

diseñadas y construidas bajo conceptos de deconstrucción se presentan problemas a la hora de reutilizar elementos, en el caso de la madera para aplicaciones estructurales, se obtienen piezas de diferente tamaño, especie y calidad que deben pasar por un proceso de transformación para lograr su reutilización.

En este orden de ideas, se hace necesario un paso intermedio entre las prácticas actuales y la implementación de la reutilización bajo parámetros de diseño y construcción para la deconstrucción, este paso intermedio solo es posible mediante la investigación e innovación en nuevos productos que logren aprovechar la madera producto de actividades de construcción y demolición convirtiéndola en elementos estructurales y no estructurales que puedan ser utilizados en construcciones convencionales y edificaciones diseñadas para la deconstrucción.

Es importante resaltar, que para que sea válido llevar a cabo un proceso de recolección y transformación de la madera producto de demoliciones, se debe buscar una alternativa sostenible, y que a la vez posea unas características físicas y mecánicas que garanticen un buen desempeño estructural según los códigos de construcción sismo resistente.

En esta investigación se recolectan piezas de madera producto de desmontes de estructuras y se lleva a unas dimensiones determinadas retirando los elementos metálicos, las imperfecciones y los residuos de otros materiales como adhesivos y morteros. Las piezas de madera son colocadas una junto a otra y se unen mediante una lámina superior e inferior de esterilla de *Guadua angustifolia Kunth* en el sistema de laminado encolado, confinando los elementos de madera reutilizada y asumiendo los esfuerzos máximos de compresión y tensión producto de la flexión, este procedimiento se lleva a cabo para obtener elementos estructurales con característica mecánicas de acuerdo a los parámetros del título G del código de construcción sismo resistente colombiano NSR10.

En este caso se decide utilizar una especie vegetal abundante en el territorio colombiano como la *Guadua angustifolia Kunth*, que tiene un buen comportamiento dentro del sistema encolado prensado, además se ha demostrado que la vigas de madera reforzadas con este material producen un aumento en la rigidez, la carga de ruptura y la ductilidad de los elementos estructurales. (Echavarría, Jiménez, & Ochoa, 2012)

Por otro lado, se busca darle valor a la cadena productiva de la *Guadua* en la región latinoamericana, la *Guadua angustifolia Kunth* ha sido catalogada como una de las 20 mejores especies de bambú en el mundo, además la alta densidad por hectárea, el crecimiento precoz, la posibilidad inmediata de aprovechamiento y gran capacidad de renovación sin resiembras, posicionan al bambú *Guadua angustifolia* como la especie nativa con mayores posibilidades económicas de Colombia. (Villegas, 2003).

1. Estado del arte

1.1 Deconstrucción y reutilización de materiales

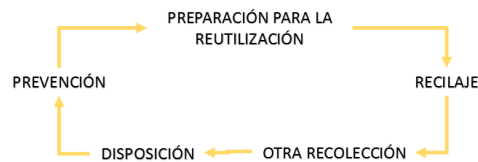
La deconstrucción es una técnica en la cual se recuperan materiales y elementos de construcción durante el desmonte o demolición de una edificación, reduciendo costos de disposición y tratamiento de residuos y mitigando impactos ambientales generados en las etapas de extracción de materias primas, procesamiento y disposición final. (Environmental Protection Agency United States, 2008).

La demolición de estructuras en grandes ciudades produce una importante cantidad de residuos, para 2001 en Estados Unidos se generaban 136 millones de toneladas de residuos de construcción al año, de las cuales 125 se llevaban a terraplenes y botaderos para su disposición final, para el mismo año en Países Bajos se generaban 15 millones de toneladas al año, de las cuales, gracias a acciones gubernamentales encaminadas al cuidado del medio ambiente más del 80% de estos residuos fueron reciclados y utilizados como sub base en la construcción de pavimentos. (Kibert, Chini, & Languell, 2001).

El Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) define la reutilización como: "La reubicación de materiales de la misma capacidad respecto a su aplicación original, extendiendo la vida útil de materiales que serían descartados, la reutilización incluye la recuperación y el empleo de los materiales recuperados de construcciones existentes o de los mismos sitios de construcción". (U.S. Green Building Council, n.d.)

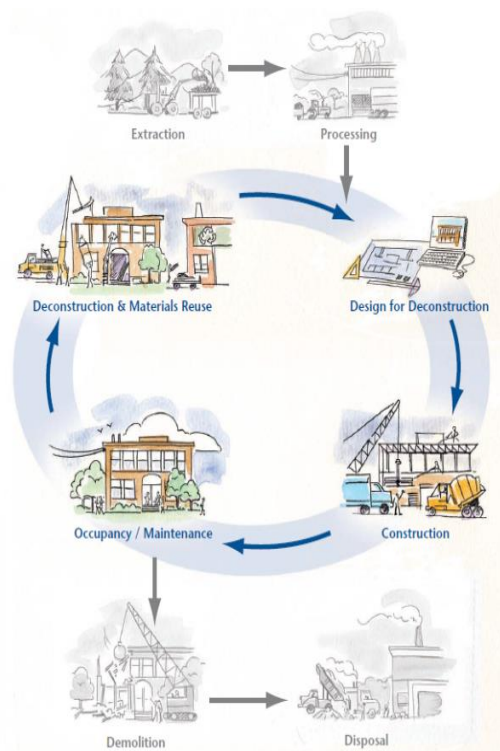
La reutilización de materiales de construcción no es una práctica nueva ya que hasta el siglo XIX fue utilizada en varias partes del mundo (Addis, 2004). En una encuesta realizada en el Reino Unido en la década de 1990 se concluyó que un promedio de dos millones de toneladas de materiales se recuperaban para ser reutilizadas o recicladas (Kay, 2000).

Además de tener en cuenta la disposición final de los materiales de demolición, se debe minimizar la extracción de materias primas no renovables y reducir la energía necesaria para su transformación en materiales de construcción. Para lograr este objetivo se plantea el siguiente modelo de gestión de residuos de construcción y demolición (Figura 1) : En primera medida se ubica la intención de optimizar y reducir el uso de materiales fabricados a partir de materias primas no renovables y con altos consumos energéticos para su procesamiento, transporte y montaje; posteriormente se ubica la reutilización de elementos que han sido desmontados de construcciones en procesos de deconstrucción y luego aparece el reciclaje en donde los materiales de elementos que no son aptos para ser reutilizados se procesan y sirven como materia prima para la fabricación de nuevos elementos. (Kibert et al., 2001).

Figura 1. Modelo de gestión de residuos de construcción

Fuente: Elaborado por el autor.

En los procesos de deconstrucción, los materiales que componen las edificaciones que han llegado al final de su vida útil pueden ser reutilizados y reciclados utilizándolos como materia prima para la fabricación de nuevos elementos, haciendo que su ciclo de vida sea cerrado pasando de un análisis de ciclo de vida “creadle to grave” a uno “creadle to creadle” en el cual los materiales pueden ser recolectados, reutilizados o reciclados manteniendo una calidad aceptable. (McDonough and Braungart, 2009).

Figura 2. Ciclo del proceso de deconstrucción

Fuente: Lifecycle Construction Resource Guide, Environmental Protection Agency United States

El uso del concepto "Diseño para el medio ambiente" es una metodología basada en la producción de insumos de construcción dirigidos hacia un mayor aprovechamiento en procesos de reciclaje y reutilización, se busca que los impactos ambientales sean mínimos al final de la vida útil. En este orden de ideas, el diseño para el medio ambiente (DfE) significa que el producto está diseñado teniendo en cuenta la reducción de los impactos ambientales y la optimización del desempeño ambiental de

la construcción. Una característica importante de esta metodología es la alta calidad técnica para garantizar una alta durabilidad los materiales de construcción. (Nordic Innovation, 2014)

El diseño para la deconstrucción (DfD) es un concepto en el cual, desde el diseño se proyectan las construcciones para que sus elementos se puedan desensamblar, reutilizar, manufacturar y reciclar en industrias. El principal objetivo de esta iniciativa es reducir los impactos en contaminación, aumentando la eficiencia económica y de los recursos naturales en remodelaciones y demoliciones de edificaciones recuperando sus componentes para extender su vida útil. (Guy, n.d.)

1.2 Madera reutilizada para uso estructural

La madera ha sido utilizada durante miles de años como material de construcción, aunque ha sido reemplazada por otros 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)

Sin embargo, en vista de la necesidad de generar procesos sostenibles en la industria de la construcción, la madera ha retomado importancia incentivando avances en la investigación científica que conducen a nuevos procedimientos y productos que aceleran el proceso de reforestación, garantizando una explotación controlada que esté de acuerdo al aumento en la demanda. En los últimos años ha crecido el interés en desarrollar opciones de reutilización ambientalmente eficientes para la madera como material de construcción. (Flak, Green, & Lantz, 1999)

El volumen de residuos que se generan en la demolición de edificios ha crecido en países como Japón, en donde los desechos de madera han generado graves problemas ambientales. Como política para mitigar esta situación se promueve el reciclaje y la reutilización de materiales utilizados en la construcción de estructuras de madera, así mismo, la investigación se concentra en desarrollar nuevas tecnologías para reducir el volumen de residuos generados en la construcción. Con tres enfoques principales: Desarrollo de métodos de diseño, desarrollo de tecnologías de reciclaje y reutilización y desarrollo de sistemas sociales para difundir las tecnologías desarrolladas en la construcción en madera (Nakajima & Futaki, 2001)

Cabe resaltar que los sistemas estructurales para la construcción en madera hacen que sus elementos sean fáciles de desmontar y reutilizar, sus conexiones se basan principalmente en elementos metálicos como clavos, tornillos pernos y pletinas. En deconstrucción los tamaños de la madera y la forma en que se unen y se cortan los elementos determinan su reutilización, las piezas más grandes tienen más opciones a la hora de evaluar sus posibles nuevos usos, mientras que en general los elementos pequeños contienen mayor cantidad de conectores como clavos y tornillos que se deben retirar manualmente consumiendo energía y tiempo. (Zabusova, 2014)

Para llevar a cabo procesos de reutilización de madera es importante analizar las condiciones a las que estuvo expuesto el material en la edificación. En el año 1999, se realizó una investigación sobre de la reutilización de madera utilizada en edificaciones de la industria militar en Estados Unidos, se estudió una muestra de 500 piezas de madera y se comprobó que la rigidez de los elementos es similar a la madera producida actualmente, sin embargo la resistencia a la flexión es menor, la exposición a agentes químicos utilizados en la fabricación de explosivos pudo alterar las propiedades mecánicas de los elementos de madera. (Flak et al., 1999)

La reutilización de elementos de madera laminada encolada o de tableros contrachapados de madera a los que se les ha aplicado adhesivo, presentan una severa reducción en la resistencia cuando se vuelven a utilizar en productos encolados, en los elementos de madera reutilizada que tienen residuos de urea formaldehído se ve significativamente afectado el comportamiento del curado y la calidad de la adhesión del nuevo sistema, el mayor deterioro de la unión entre elementos se obtiene con mayor contenido y tamaño de residuos en la superficie de madera.(Zhong, Gu, Gao, Tu, & Hu, 2017)

Un ejemplo de estructura de madera diseñada bajo conceptos de deconstrucción es el edificio Tamedia en Zúrich, Suiza. Fue construido en el año 2013, puede ser desmontado fácilmente al final de su vida útil reutilizando todos los elementos de su estructura, cuenta con siete pisos, su estructura está hecha completamente en madera inspirada en las construcciones tradicionales japonesas. La carpintería fue realizada por control numérico computacional de precisión, la estructura no utiliza clavos, tornillos, adhesivos ni elementos metálicos. (Zabusova, 2014)

Figura 3. Edificio Tamedia en Zúrich, Suiza



Fuente: Design for Deconstruction, Zabusova Diana.

1.3 Madera laminada encolada

La madera laminada se define como la unión de prismas de madera unidos mediante diferentes métodos, conformando un elemento monolítico que es continuo en escuadría y en largo. Dependiendo del tipo de unión los elementos laminares pueden ser pernados, calvados o encolados, por lo general las láminas se disponen a lo largo del eje

longitudinal del elemento, sin embargo también se fabrican elementos laminados cruzados en donde las láminas adyacentes se ubican ortogonalmente, cabe aclarar que si las láminas son paralelas al plano neutro de flexión del elemento se considera un laminado horizontal, si son normales al plano neutro de flexión se trata de una laminación vertical. (Pérez, 1992)

Mediante el uso de adhesivos se pueden utilizar láminas de diferentes medidas construyendo elementos estructurales de cualquier dimensión, antes de este sistema las secciones de madera con las que se podía trabajar estaban limitadas por las medidas que eran extraídas naturalmente de cada especie vegetal, así mismo, las piezas de madera se pueden ubicar de tal forma que en zonas de mayor sollicitación se tengan materiales más resistentes y en zonas de bajas sollicitaciones madera de menor calidad, este tipo de elementos se conocen como laminados híbridos.

La técnica de construir elementos con láminas de madera unidas mediante adhesivos fue muy utilizada en la construcción de muebles y embarcaciones. En 1909 en Suiza, se aplicó por primera vez en estructuras, obteniendo excelentes resultados y se empezó a desarrollar esta técnica para elementos que debían cubrir grandes luces, permitiéndoles a los constructores versatilidad en la creación de edificaciones con grandes posibilidades de diseño.

En 1930 en Töreboda Suecia, se construyó la primera fábrica para la construcción de estructuras en madera laminada. Paralelamente en el año de 1934 en Estados Unidos fue construido el Laboratorio de Productos Forestales con una estructura de arcos triarticulados compuestos de madera laminada. Otros países que aplicaron esta técnica fueron Noruega, Alemania, Holanda, Bélgica y Canadá. (Pérez, 1992)

Durante la segunda guerra mundial se llevaron a cabo grandes avances en los adhesivos utilizados en la construcción de embarcaciones fabricadas con madera laminada, desarrollando múltiples investigaciones de adhesivos resistentes a la humedad, actualmente todavía se fabrican cascos para embarcaciones con madera encolada con resinas.

Luego de la segunda guerra mundial Finlandia tuvo que indemnizar a la Unión Soviética con una gran flota de embarcaciones las cuales fueron construidas con madera laminada, esta gran producción desarrollo la técnica de construcción en Finlandia y en Estados Unidos, en el momento en que cayó drásticamente la producción de embarcaciones, la industria de laminados de madera tuvo que buscar nuevas alternativas de aplicación como la construcción de edificaciones.

Como era de esperarse, el avance en la ciencia de los laminados encolados ha estado en función del desarrollo de los adhesivos, el primero en utilizarse en 1900 fue la Caseína, que fue reemplazada rápidamente en 1912 por el fenol formaldehído que produjo un gran desarrollo en esta industria con la úrea formaldehído, luego de la segunda guerra mundial se desarrolló el resorcinol formaldehído con el cual se empezaron a construir estructuras de gran envergadura.

En Latinoamérica, Chile se destaca en investigación y construcción de estructuras de madera laminada encolada, por esta razón ha definido gran cantidad de normas y parámetros de control de calidad que son base para la mayoría de estudios que se han realizado en el continente americano. (Pérez, 1992)

En laminados estructurales se han usado comúnmente la madera de especies coníferas por encontrarse en la mayor parte de los países que han implementado el uso de este sistema, sin embargo especies latifoliadas también se han empezado a implementar en laminados con propósitos estructurales, con las cuales se han producido investigaciones que prueban que cumplen con la normativa internacional y pueden ser utilizadas por la industria teniendo en cuenta los niveles de reforestación de cada especie en determinada región para garantizar la sostenibilidad del proceso. (Barreto Castañeda, J. S. 2013). Se debe tener especial cuidado a la hora de la elección de la madera ya que independiente de sus propiedades mecánicas, sus propiedades físicas y químicas pueden presentar problemas con el uso de adhesivos.

Los adhesivos pueden funcionar de dos maneras:

- *Adhesión mecánica:* en la cual el adhesivo en estado líquido penetra en los poros de la madera debido a la capilaridad antes de fraguar y en estado sólido genera un anclaje entre poros de dos laminas adyacentes.
- *Adhesión específica:* Luego del fraguado del adhesivo se crean fuerzas moleculares entre las partículas del polímero y la madera formando la línea de cola. (Hoheisel, 1988).

En la fabricación de elementos estructurales de madera laminada se han utilizado dos clases de adhesivos, en un principio se usaron colas naturales producidas a base de materiales orgánicos y más adelante se implementaron los adhesivos sintéticos.

- *Adhesivos Orgánicos:* Se crean a base de proteínas, uno de los más importantes fue la harina de soya que por su bajo costo logro que los laminados se posicionaran en el mercado, estos adhesivos son muy susceptibles a la humedad generando restricciones en el uso estructural. Otros adhesivos orgánicos utilizados son el adhesivo de tanino y el de lignina.
- *Adhesivos Sintéticos:* pueden ser de dos clases:
 - *Adhesivos Formaldehidos:* usualmente son a base de fenol formaldehido (PF), resinol formaldehido (RF), fenol-resinol formaldehido (PRF), úrea formaldehído (UF) y melamina formaldehido. Estos polímeros se deben mezclar con catalizadores, cargas y disolventes para poderse aplicar, una vez reacciona la mezcla el tiempo es limitado para su aplicación, por lo

que hay que prepararlos poco antes de su utilización. El fraguado de estos materiales se produce por la policondensación de la resina cuando reacciona con el catalizador, el tiempo de fraguado depende en gran parte de la temperatura ambiente, por lo general se realiza entre 15°C y 20°C, para aumentar la velocidad del fraguado en procesos industriales se usan temperaturas entre los 70°C y 140°C.

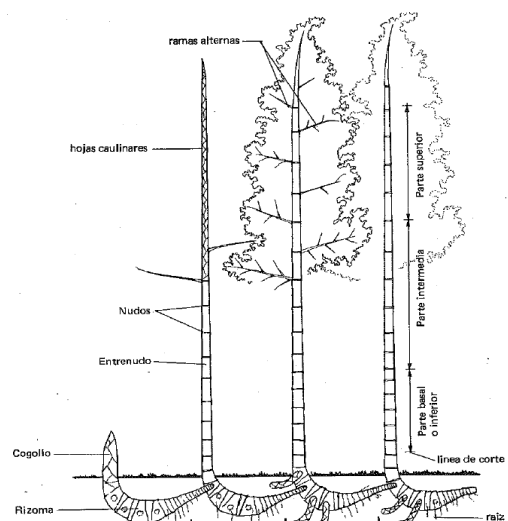
- *Adhesivos epóxicos y poliuretanos*: Son comúnmente usados para unir gran variedad de superficies como madera, metal, plástico, concreto etc. Estos adhesivos por lo general curan a temperatura ambiente y permiten la adhesión de la madera con otros materiales, son más costosos que los adhesivos orgánicos y los formaldehidos. (Quevedo, 2000).

1.4 Bambú *Guadua angustifolia* Kunth en el sistema laminado estructural

El bambú *Guadua angustifolia* ha sido utilizado desde la época prehispánica en el territorio colombiano como material de construcción que ha contribuido a reducir el déficit de vivienda, por su facilidad de consecución se convirtió en una alternativa para la población de escasos recursos que logró reemplazar materiales más costosos. El bambú *Guadua angustifolia* además de ser un recurso renovable muy apto para la explotación forestal ha sido clasificado entre las 20 mejores especies de bambú en el mundo por sus propiedades, tamaño y uso. (Villegas, 2003).

La guadua se clasifica como un bambú leñoso del cual existen aproximadamente 1000 especies, 500 de estas especies presentes en América. El bambú *Guadua angustifolia* Kunth se encuentra principalmente en países como Colombia, Venezuela y Ecuador, aunque también existe en grandes cantidades en países centroamericanos como Panamá, que junto con Colombia se han caracterizado por el uso de esta especie en diferentes campos. (Olarte Arenas, 2012).

La *Guadua angustifolia* Kunth (figura 4), es de las especies de bambú más usadas en construcciones vernáculas en América, pertenece a la familia de las Poaceae y se caracteriza por el gran tamaño de los culmos que alcanzan hasta 25 m. de altura con diámetros entre los 18 y los 10 cm. (López & Correal, 2009)

Figura 4. Anatomía del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth.

Fuente: Manual de construcción con bambú, Hidalgo O.

Dentro de sus ventajas se encuentra una alta densidad por hectárea, crecimiento precoz, posibilidad inmediata de aprovechamiento y gran capacidad de renovación sin resiembras, que posicionan al bambú *Guadua angustifolia kunth* como la especie nativa con mayores posibilidades económicas de Colombia. (Villegas, 2003).

La anatomía interna del culmo de bambú determina su comportamiento mecánico, la sección transversal se compone de corteza exterior, capa interna, haces vasculares y tejido parenquimático. (Takeuchi, 2014)

Las fibras se encuentran orientadas axialmente dando a la guadua una alta resistencia a la tensión paralela a la fibra, siendo más resistente en la pared externa debido a su dureza y mayor cantidad de fibras, así mismo, la resistencia a la tensión se reduce en los nudos por la orientación de algunos haces vasculares (Carvajal, Ortégón, & Romero, 1981).

Por otro lado la resistencia a la compresión paralela a las fibras es menor que la resistencia a la tensión paralela en más de un 25% debido a que la guadua no cuenta con fibras radiales que unan a las fibras longitudinales, las cuales se encuentran embebidas en una matriz débil causando que la resistencia a la tracción perpendicular a las fibras sea bastante baja, es por esto que la falla de compresión paralela a las fibras ocurre por la separación de las fibras longitudinales. (Takeuchi, 2014)

En la guadua existe una variación importante de las propiedades mecánicas en estado rollizo a causa de la irregularidad dimensional de la sección transversal que limita su uso para grandes luces y cargas, es por esto que el sistema laminado encolado es una alternativa para el uso de la guadua en la industria de la construcción. (López & Correal, 2009)

El bambú laminado o Glubam (figura 5), se ha desarrollado en diferentes partes del mundo con varias técnicas siendo utilizado como un nuevo material para la construcción de puentes y edificaciones, el diseño de construcciones con este material se ha basado en las normas de diseño de estructuras de madera y ha sido aplicado en construcciones de emergencia modulares temporales y permanentes, edificaciones residenciales de varios niveles y estructuras de grandes luces. Las viviendas temporales edificadas en el área devastada por el terremoto ocurrido Sichuan, China en mayo de 2008 fueron construidas con Glubam (Xiao, Shan, Yang, Li, & Chen, 2014).

Para construir los laminados, la guadua somete a un proceso de transformación, en el cual el culmo es cortado y convertido en tablillas para ser prensado en frío uniando las láminas mediante adhesivo y aplicando presión mecánica, la unión de dos tablillas forman una línea de encolado constituida por el adhesivo que no supera los 0.2 mm. (Gonzalez, Hellwing, & Montoya, 2009), así mismo, existe una penetración de adhesivo en la Guadua que disminuye a medida que aumenta la densidad del material alrededor de la línea de encolado (Bassett, 1960)

Figura 5. *Guadua Angustifolia Kunth* en el sistema laminado estructural



Fuente: Diversas aplicaciones del bambú *Guadua Angustifolia* en la arquitectura. Lozano J.

Para la *Guadua Angustifolia Kunth* en el sistema laminado estructural la calidad y la durabilidad del elemento depende del adhesivo y su resistencia a las condiciones de humedad (Lozano, 2010). En cuanto a la determinación del mejor adhesivo para la fabricación de vigas laminadas de bambú Gonzalez et al., 2009 estudiaron diferentes tipos de pegantes entre ellos la melanina formaldehído, fenol resorcinol formaldehído y poliuretano, encontrando que para todos la falla se presentó en la *Guadua Angustifolia Kunth* en la zona de interacción con el adhesivo, además la resistencia es menor en la cara interior de las tablillas, concluyendo que la falla no se produce en la línea de cola sino en el material blando de la guadua. Como conclusión de la investigación el adhesivo melanina formaldehído fue el mejor en cuanto a sostenibilidad y comportamiento mecánico. (Gonzalez et al., 2009)

1.5 Antecedentes

En 2006 se realiza un estudio analítico y experimental sobre vigas construidas con bambú laminado, la investigación consistió en realizar ensayos de flexión a vigas utilizando diferentes adhesivos y juntas entre lamelas. (Voermans, 2006)

En 2009 se estudió la determinación del adhesivo óptimo para la fabricación de vigas de bambú *Guadua angustifolia Kunth*, esta investigación estudio la firmeza mecánica y la durabilidad de la unión encolada de tablillas de bambú, se tomó como criterio la falla en la línea de encolado y la resistencia al esfuerzo de cizalladura en la unión. Los mejores adhesivos fueron el Melamin Harzleim y el Recorcin Harzleim. (Gonzalez et al., 2009)

En 2010 se estudió el comportamiento estructural de la *Guadua angustifolia Kunth* ante carga perpendicular y paralela a su plano, con paneles laminados prensados propuestos para ser utilizados como muros de corte y tableros de piso, producto de la investigación se generaron curvas de diseño para cada uso y se obtuvieron parámetros de rigidez y módulo de elasticidad. (Pinilla Rodriguez, 2010)

En 2013 fue estudiado el comportamiento a compresión del bambú laminado, la investigación fue realizada con probetas extraídas de diferentes alturas del culmo, como resultado se obtuvo que la resistencia disminuye con la altura de crecimiento pero no de manera significativa, por otro lado el bambú laminado con una altura media de crecimiento tiene un módulo de elasticidad más alto, a pesar de las variaciones en el comportamiento mecánico en función de la altura de donde se extraen las tablillas se concluye que la diferencia no es significativa para el diseño de estructuras con estos elementos. (H. Li, Zhang, Huang, & John, 2013)

En 2014 se publica un estudio de las propiedades mecánicas, el impacto ambiental y las aplicaciones estructurales para el bambú en el sistema laminado encolado, en donde se recopilan investigaciones sobre el comportamiento estructural de tableros, vigas, envoltentes etc. compuestos por láminas de bambú unidas por adhesivos en varias capas. Se realizan modelos para determinar el comportamiento ante fuego y cargas de sismo. (Xiao et al., 2014)

En 2014 se realiza una investigación sobre el comportamiento mecánico del bambú *Guadua angustifolia Kunth* en el sistema laminado encolado para uso estructural estudiando la resistencia a la tensión, compresión, corte y flexión. Como resultado se obtuvo que el adhesivo logra una adherencia total entre las láminas, el comportamiento de la guadua en el sistema laminado encolado tiene menor dispersión permitiendo una mayor seguridad en el comportamiento estructural. (Takeuchi, 2014)

En 2014 se estudió el comportamiento a flexión de vigas de madera de gran longitud de sección compuesta reforzadas con láminas pegadas prensadas de *Guadua angustifolia Kunth*, los ensayos se hicieron reforzando vigas de pino con tablillas de *Guadua angustifolia* en la parte superior e inferior, como resultado hubo un aumento en la carga

de ruptura, teniendo en cuenta que el pino es un material frágil se demostró que las tablillas le da un comportamiento dúctil a las vigas reforzadas. (Reyes & Rayo, 2014)

Para el refuerzo de vigas de madera se estudian diferentes tipos de materiales para aumentar sus propiedades mecánicas como el acero (Y. Li, Shan, Shen, Zhang, & Liu, 2015), fibra de carbono (Jacob & Barragán, 2007), fibras plásticas reforzadas (FRP) (Schober et al., 2015) entre otros.

En 2012 fue estudiado el comportamiento de vigas de madera laminada reforzadas con bambú *Guadua angustifolia Kunth* y se compara con el refuerzo de fibra de vidrio, demostrando que la fibra de vidrio y el bambú aumentan la carga de ruptura y la rigidez de las vigas. (Echavarría et al., 2012) Sin embargo el bambú es menos costoso y presenta ventajas en cuanto sostenibilidad frente a la fibra de vidrio, teniendo en cuenta su excelente relación resistencia / peso, gran velocidad de crecimiento (3 a 6 años) y en especial su capacidad de captación de CO₂. (Reyes & Rayo, 2014).

En general estas investigaciones han producido los siguientes efectos en las propiedades mecánicas:

- Carga de ruptura superior.
- Aumento de la rigidez del elemento estructural.
- Incremento de la ductilidad del material.
- Mejora la resistencia a la flexión de vigas.
- El comportamiento es más uniforme lo que permite reducir factores de seguridad.
- Reducción de la cantidad de madera para la misma condición de carga.
- Reducción de la densidad del elemento estructural. (Echavarría et al., 2012)

En 2014 se estudió la resistencia a la flexión de vigas de sección en I compuestas por acero al carbono y tablillas de bambú unidas con adhesivos. Las vigas compuestas tuvieron un buen comportamiento, la capacidad de carga y las deformaciones están relacionados con el espesor de bambú obteniendo mayor capacidad de carga y menores deflexiones al aumentar el grosor, el bambú aportó un 42% de la capacidad de soporte ante esfuerzos de flexión. (Y. Li et al., 2015)

En 2016 se realizan investigaciones sobre el proceso de fractura de estructuras construidas con el bambú *Guadua angustifolia Kunth* mediante un modelo numérico micromecánico que fue comparado con simulaciones numéricas de probetas sometidas a fuerza axial, este modelo representa la respuesta estructural y la trayectoria de la figuración en elementos fabricados con bambú *Guadua angustifolia Kunth* en el sistema laminado. (Estrada, 2016)

2. Metodología de la investigación

2.1 Obtención de la madera para ser reutilizada

La madera utilizada en esta investigación fue recuperada de la estructura de cubierta de los edificios 238-Contaduría y 239-Filosofía (Figuras 6 y 7) ubicados dentro del campus de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

Figura 6. Edificio 238 - Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.



Fuente: Elaborado por el autor.

Entre el año 2015 y 2016 se llevaron a cabo trabajos de mantenimiento en las cubiertas de varios edificios en la Universidad Nacional, en los edificios 238 y 239 se reemplazó la estructura de madera por estructura metálica, durante este proceso los elementos de madera fueron desmontados tratando de mantener su integridad, sin embargo algunos debieron ser cortados y otros sufrieron lesiones mecánicas.

Figura 7. Edificio 239 - Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.



Fuente: Elaborado por el autor.

Los dos edificios fueron diseñados por el arquitecto Leopoldo Rother en el año 1938 y construidos entre 1939 y 1940, las dos edificaciones cuentan con un área de 947 m² y se localizan al sur del campus universitario.

Estos inmuebles se construyeron junto a otros edificios para la inauguración de la Ciudad Universitaria y fueron diseñados para ser utilizados como vivienda de docentes y algunos decanos de las facultades que empezaban a funcionar.

Posteriormente, en el año 1953 estas instalaciones cambian de uso para servir de oficinas de la Cooperativa de Profesores y Empleados de la Universidad Nacional, luego fueron utilizadas por la facultad de sociología, la Caja de Previsión Social de la Universidad Nacional, el Museo de Arte Moderno, el Instituto de derecho internacional, y oficinas de docentes de contaduría, administración de empresas y filología e idiomas. Por el decreto 1818 del 13 de agosto de 1996 del Ministerio de Educación Nacional, estas construcciones fueron declaradas bien de interés cultural de carácter nacional.

Durante su vida útil estas edificaciones han sido reformadas remodelando y adicionando algunos espacios:

- En 1953 se realizan adaptaciones cambiando el uso de vivienda al de oficinas de la Cooperativa de Empleados y Profesores de la Universidad Nacional y el servicio médico estudiantil.
- En 1962 se realizan remodelaciones para la Caja de Previsión de la Universidad Nacional con el proyecto arquitectónico de Alonso Castelblanco.
- En 1963 y 1964 se construyó el tercer piso del edificio 238 para las instalaciones de facultad de filosofía y se adecuó el edificio 239 para el Museo de Arte Moderno.
- En 1978 el arquitecto Ricardo Bernal realiza una remodelación para la adecuación de una cafetería.
- En 1984 se realiza mantenimiento de los dos edificios.
- En 1999 se realiza la construcción de instalaciones para posgrados de la facultad de ciencias económicas.
- En 2015 y 2016 se realiza el mantenimiento y recuperación de cubiertas debido a filtraciones de agua.

Luego de atender los requerimientos de la Oficina de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional, se obtuvo el aval para trasladar la madera al edificio 314 del campus en donde están ubicadas las instalaciones del Grupo de Investigación Madera y Guadua GIMG y el Centro de Investigación de Bambú y madera CIBAM.

El día 5 de marzo de 2016 se realizó el proceso de recepción (figura 8), el material fue descargado y extendido para verificar la cantidad de piezas, las dimensiones, el estado en el que se recibe cada elemento de madera. Cada pieza se identifica con un código mediante el cual es posible tener trazabilidad del material durante todo el proceso.

Figura 8. Proceso de recepción de la madera para ser reutilizada.



Fuente: Elaborado por el autor.

2.2 Selección de madera para uso estructural

Cada pieza se estudia siguiendo los requisitos generales de calidad, según la clasificación visual por defectos establecida en título G – Estructuras de madera y estructuras de guadua del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en donde para cada tipo de defecto se establecen tolerancias en función del uso estructural, teniendo en cuenta que las vigas estudiadas han sido diseñadas para ser usadas en elementos principales de la estructura, la clasificación visual corresponde a madera de tipo estructural selecta E.S. (Tabla 1)

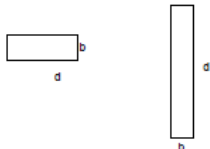
Para realizar la clasificación visual por defectos se diseñó el formato “Clasificación visual – Recepción de madera”, en el cual se seleccionaron los defectos que no podrían ser tratados en el proceso de preparación de la madera y que definitivamente no cumplían los requisitos mínimos para elementos de madera de tipo estructural selecta. En el Anexo A se presenta el estudio de clasificación visual para las piezas de madera que fueron descartadas en el proceso de recepción.

En términos generales la madera recibida estaba en un buen estado de conservación, los elementos no tenían una escuadría constante y su longitud era variable debido a los cortes generados durante el desmonte de la cubierta.

Tabla 1. Tolerancia de la madera aserrada de uso estructural

	Defecto	Estructural Selecta (E.S)	Estructural Normal (E.N) ⁽²⁾	Observaciones
1	Dimensión real - En sección transversal - Longitud	- 2 mm, L < 150 + 4 mm, L > 150 -5 mm +5 mm	- 5 mm +5 mm - 8 mm +8 mm	
2	Alabeos - Abarquillado - Arqueadura - Enconadura - Torcedura	< 0.01d < 0.003L < 0.003L < 0.003L	0.015d 0.005L 0.005L 0.005L	Torcedura en una sola arista.
3	Arista faltante (una sola cara)	Máx. 0.25d Máx. 0.25L	Máx. 0.30d Máx. 0.30L	En una sola arista, con reducción de esfuerzos.
4	Duramen quebradizo	No	No	
5	Escamaduras (una sola cara)	< 0.1b < 0.25b	< 0.1b < 0.25b	No se permite en las aristas
6	Falla de compresión	No	No	
7	Grano inclinado	Máx. 1:8	Máx. 1:8	Con reducción de resistencia según (G2.2.3.7)
8	Grieta superficial	Suma < 0,25 b	Suma < 0,30 b	
9	Medula	No	No	
10	Nudos (1 m entre nudos) Nudo sano Nudo hueco Nudos arracimados	Máx. 0,25 b/m, < 4mm Máx. 0,12 b/m, < 4mm No	Máx. 0,25 b/m, < 4mm Máx. 0,12 b/m, < 4mm No	Distancia entre nudos mayor a 1 m, no se permite en tercio central, ni en zona de tracción. Nudos huecos deben ser sellados con igual material y adhesivos
11	Perforaciones selladas (no alineadas ni pasantes) Pequeñas Grandes	Máx. 6 perf/100 cm ² 3 perf/m	Máx. 10 perf/100 cm ² 6 perf/m	Deberán ser sellados con igual material y adhesivos. D ≤ 3mm D ≥ 3mm
12	Pudrición	No	No	
13	Rajaduras	Long. Máx. = b	Long. Máx. = 1.5b	Solo en un extremo
14	Manchas	No	Mancha azul	

NOTA 1:



b = ancho de la pieza, la de menor dimensión
d = espesor de la pieza, la de mayor dimensión
L = longitud de la pieza

NOTA 2:

Los elementos de la clase Estructural Normal, se diseñarán con un coeficiente de reducción de esfuerzos $C_R = 0.75$, para todos los esfuerzos, excepto el módulo de elasticidad. En las memorias de cálculo se debe indicar el sistema empleado para el diseño de los elementos secundarios.

Fuente: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR10.

Se encontraron piezas de madera con perforaciones debidas al ataque de coleópteros, así mismo elementos presentaban pudrición y grietas. (Figura 9)

Figura 9. Elemento de madera descartado para uso estructural.

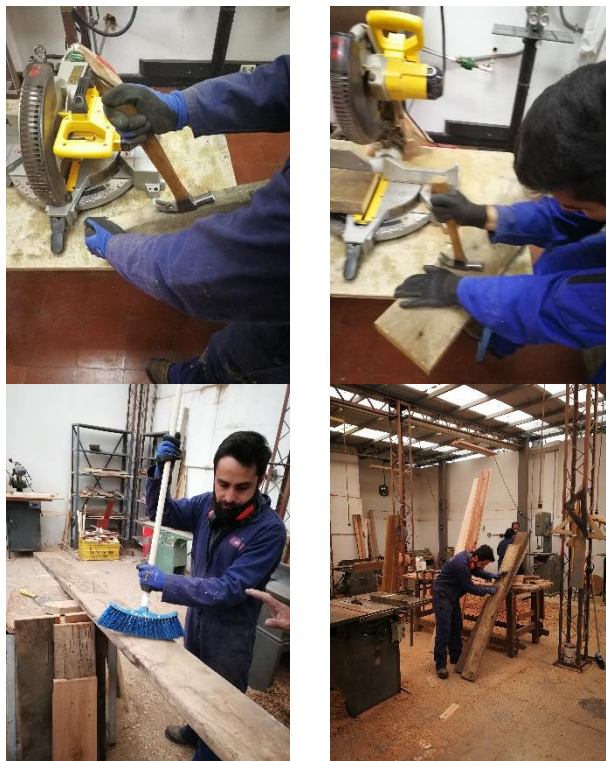
Fuente: Elaborado por el autor.

2.3 Preparación de madera seleccionada

Es importante resaltar que en la época en la que se construyeron los edificios no existían ningún reglamento que estableciera parámetros mínimos para la selección de madera utilizada en las estructuras, es por esto que aun siendo maderas empleadas en la estructura de cubierta, la mayoría de las piezas no cumple con algunos de los requisitos del NSR10, sin embargo es posible retirar imperfecciones por medios mecánicos y conseguir piezas de madera de calidad E.S. que dentro del sistema propuesto pueden ser parte de elementos de gran longitud.

El primer tratamiento que se le da a la madera es el retiro de elementos metálicos de fijación como clavos, pernos, platinas. Además se realiza una limpieza para retirar mortero de cemento, polvo, adhesivos etc. Cabe resaltar que durante el retiro de clavos y platinas se pueden generar lesiones mecánicas como fisuras, grietas, abolladuras etc. que podrían hacer que el elemento sea descartado al no cumplir los requisitos de clasificación visual.

Figura 10. Preparación de la madera seleccionada.



Fuente: Elaborado por el autor.

Cada elemento de madera es cortado con una sierra eléctrica, perpendicularmente a su eje longitudinal, eliminando en lo posible defectos como nudos, perforaciones, pudrición, rajaduras y manchas (Figura 11). Es importante mencionar que durante este proceso se extrae una muestra de cada pieza para realizar el proceso de caracterización

macroscópica de la madera para poder determinar las especies que compondrán las vigas construidas.

Mediante este proceso se obtuvo piezas con escuadría mínima de 18 cm. de altura, 4 cm. de espesor. Para el largo de las piezas se definieron diferentes medidas, 260 cm., 130 cm., 86 cm. y 65 cm.

Figura 11. Acopio de madera seleccionada luego de retirar elementos metálicos y defectos.



Fuente: Elaborado por el autor.

Las piezas se dejan planas por una de las caras de 18 cm. y se deja ortogonal una de las caras de 4 cm. Este proceso se lleva a cabo utilizando una planeadora para madera. (Figura 12)

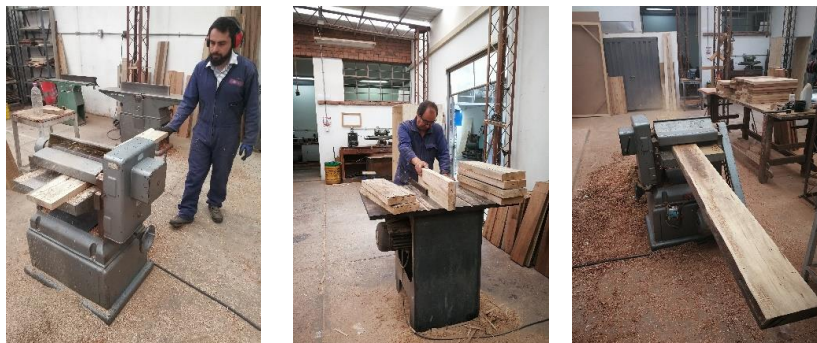
Figura 12. Planeado de piezas de madera.



Fuente: Elaborado por el autor.

Luego de tener dos caras planas se procede a cepillar cada elemento con un cepillo eléctrico para madera, con el cual se logra garantizar un espesor uniforme para todas las piezas (Figura 13), sin embargo para elementos con un espesor demasiado grande se debe realizar un corte previo para reducir el ancho de la pieza utilizando una sierra de banco, posteriormente se cepilla para darle el acabado final por las caras laterales.

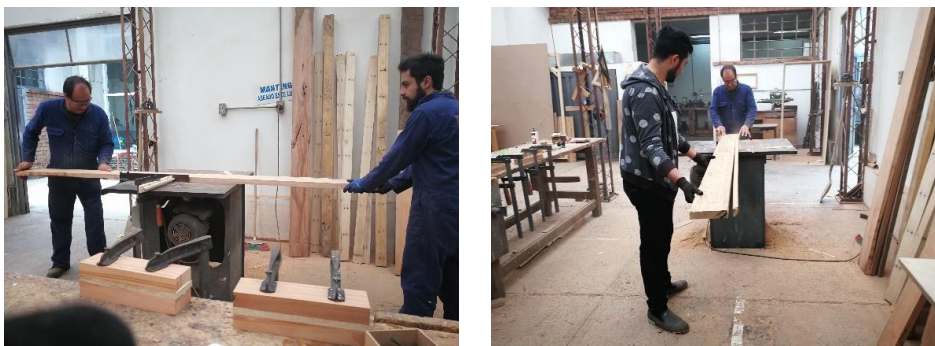
Figura 13. Cepillado de piezas de madera



Fuente: Elaborado por el autor.

Por último se cortan las tablas dejando una altura constante para todas las piezas, este proceso es importante ya que garantiza que al colocar la esterilla de guadua y el adhesivo en el proceso de prensado, se debe mantener una presión constante en todo el elemento. Por lo cual las piezas se cortan con la sierra de banco a 16.2cm y luego se pasan por la planeadora obteniendo piezas de 16 cm de altura. (Figura 14)

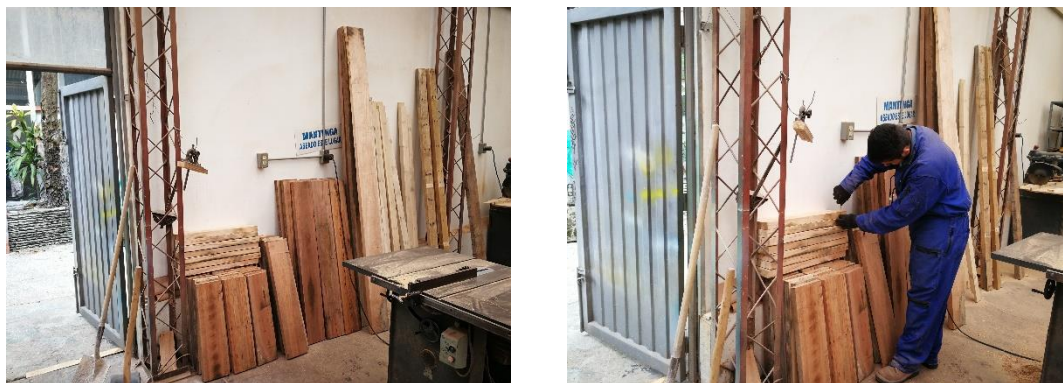
Figura 14. Corte con sierra de banco.



Fuente: Elaborado por el autor.

Los elementos de madera son almacenados de acuerdo a sus dimensiones y se verifica pieza por pieza que cumpla las medidas establecidas: 16 cm. de altura, 3.5 cm. de espesor y longitudes de 260 cm. 130 cm. 86 cm. y 65 cm. (Figura 15) Durante el proceso de preparación de la madera se descartan elementos que presentaban lesiones como pudrición, que no se observaron en el proceso de inspección visual pero que al cepillar la pieza fueron identificados (Figura 16), así mismo, algunos elementos que presentan grietas y nudos fueron aceptados para estudiar sus efectos en la resistencia mecánica de las vigas propuestas.

Figura 15. Verificación de dimensiones de las piezas de madera.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 16. Madera descartada durante el proceso de cepillado.



Fuente: Elaborado por el autor.

2.4 Identificación macroscópica de las especies de madera seleccionada.

Para identificar las diferentes especies de madera se realiza una caracterización anatómica reconociendo unas características que se observan a simple vista y otras que solo es posible apreciarlas a través de un estereomicroscopio.

Además de la características macroscópicas de la madera y las propiedades organolépticas, como el olor y la apariencia, se deben tener en cuenta detalles sobre la estructura que solo se pueden observar mediante el uso de una lupa o un estéreo microscopio, determinando un conjunto de características xilemáticas en los elementos de la estructura celular y propiedades físico químicas.

Para cada especie de madera que se obtuvo del proceso de deconstrucción y que fue seleccionada para construir las vigas de esta investigación se realiza un proceso de identificación macroscópica, retirando una muestra de material de cada especie.(Figura 17)

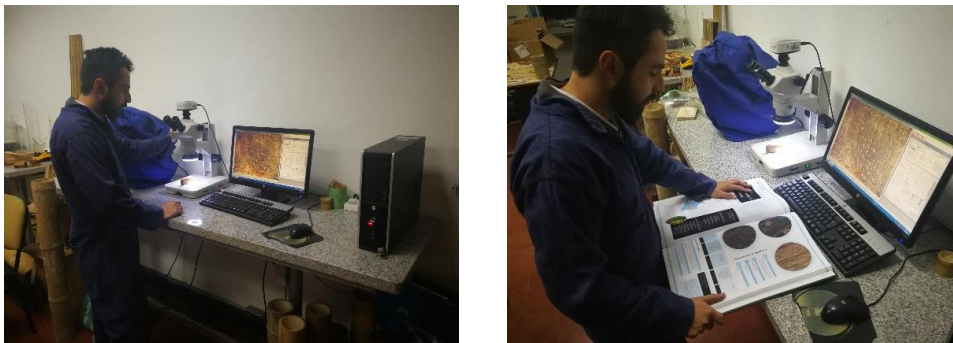
Figura 17. Muestras de las especies de madera reutilizada para caracterización macroscópica.



Fuente: Elaborado por el autor.

Las muestras de madera son estudiadas usando imágenes de estereomicroscopio que permite identificar aspectos de la estructura celular de cada especie, esta información es comparada con las características detalladas en el Atlas de Maderas del Grupo de Investigación Madera y Guadua de la Universidad Nacional de Colombia – GIMG. (Figura 18)

Figura 18. Proceso de identificación macroscópica.

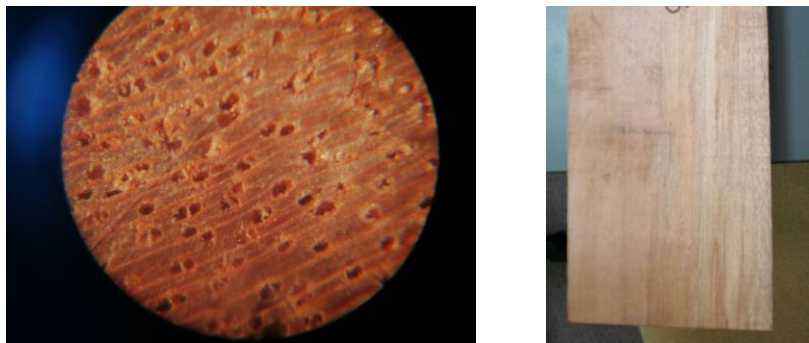


Fuente: Elaborado por el autor.

En este proceso se identificaron las siguientes especies:

- ***Otoba lehmanni*:**

Figura 19. *Otoba lehmanni*

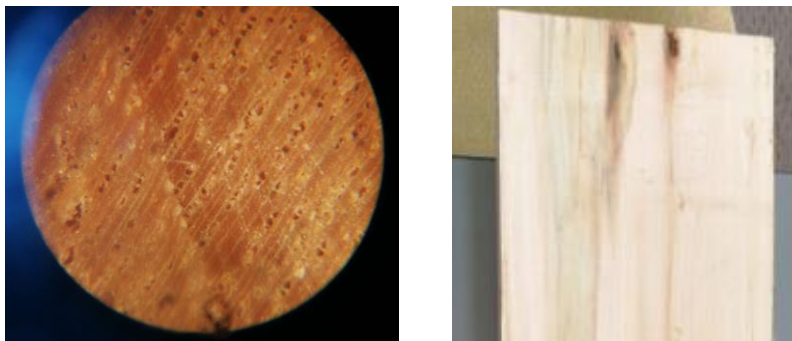


Fuente: Elaborado por el autor.

- 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 20. *Hymatanthus articularis*

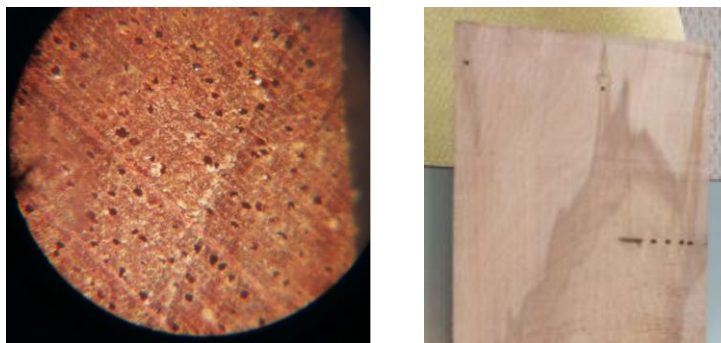


Fuente: Elaborado por el autor.

Especie sin caracterizar.

- ***Virola sebifera Aubl:***

Figura 21. *Virola sebifera Aubl*

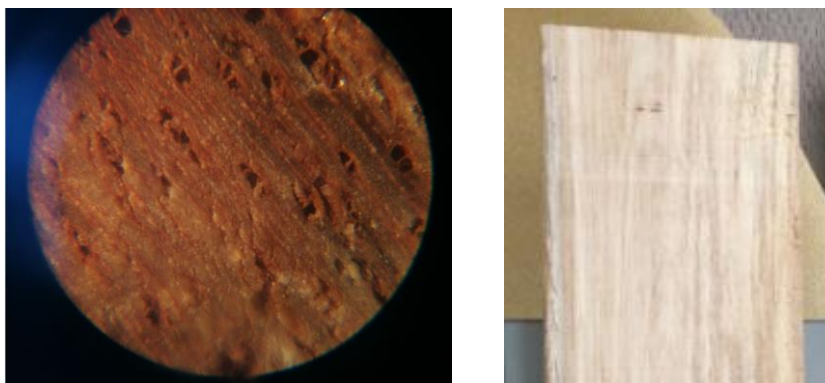


Fuente: Elaborado por el autor.

- Nombre común: Sangreoro.
- 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/cm^3 .
 - Contracción Radial: 4.5%
 - Contracción Tangencial: 11.5%
 - Contracción Volumétrica: 15.5%
 - Relación CT/CR: 2.7
 - Propiedades mecánicas:
 - Módulo de ruptura: 624 kg/cm^2
 - Módulo de elasticidad: 100 t/cm^2
 - Compresión paralela 3: 354 kg/cm^2
 - Compresión perpendicular: 27 kg/cm^2
 - Dureza en los lados: 216 kg
 - Tenacidad: 0.61 kg m
- ***Billia rosea*:**

Figura 22. *Billia rosea*

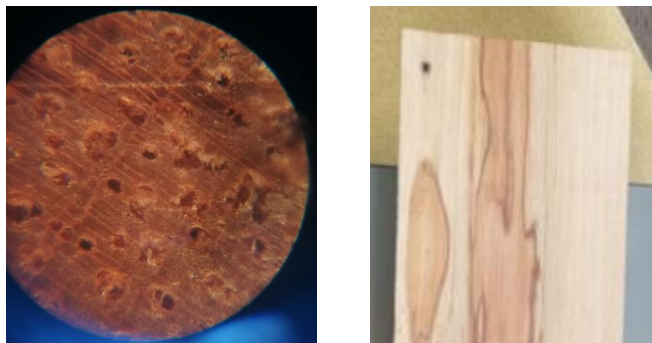


Fuente: Elaborado por el autor.

Especie sin caracterizar.

- ***Aniba perutilis Hemsl:***

Figura 23. *Aniba perutilis Hemsl*



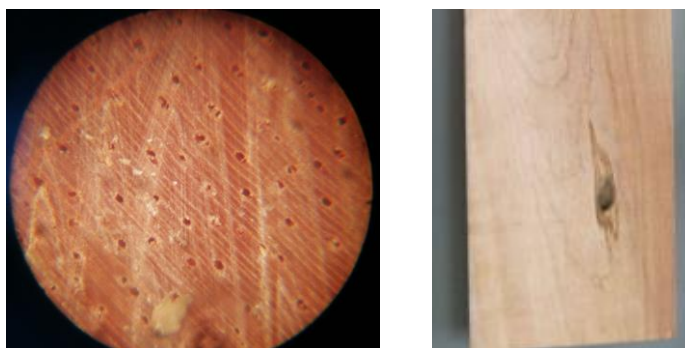
Fuente: Elaborado por el autor.

- 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 multiples 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 24. *Eucalyptus globulus*

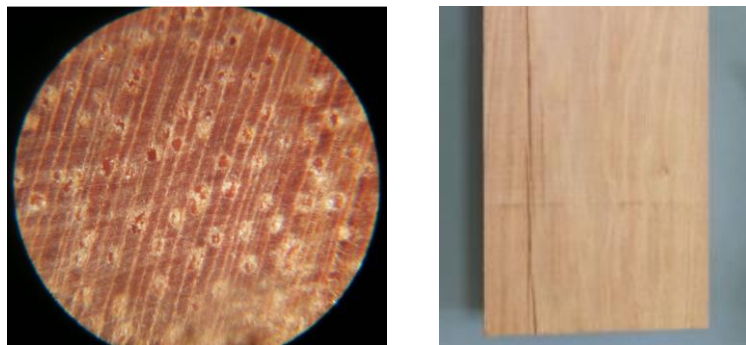


Fuente: Elaborado por el autor.

- 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/cm^3 .
 - Contracción Radial: 6.7 %
 - Contracción Tangencial: 14.2 %
 - Contracción Volumétrica: 19.9 %
 - Relación CT/CR: 2.2
- Propiedades mecánicas:
 - Módulo de ruptura: 1068 kg/cm^2
 - Módulo de elasticidad: 138 t/cm^2
 - Compresión paralela 3: 470 kg/cm^2
 - Compresión perpendicular: 80 kg/cm^2
 - Dureza en los lados: 442 kg
 - Tenacidad: 3.45 kg m
- ***Ocotea sp. Aubl.* :**

Figura 25. *Ocotea sp. Aubl.*

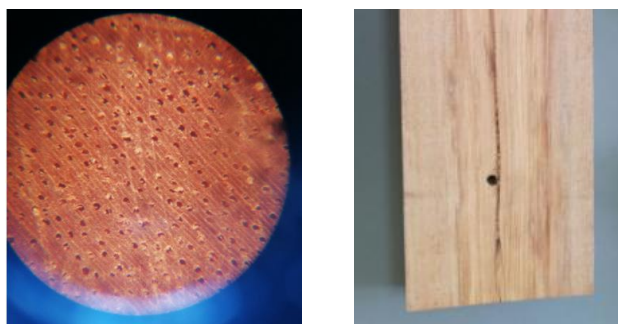


Fuente: Elaborado por el autor.

- 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 vasicentrico 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 26. *Nectandra purpurea (Ruiz & pav.) Mez*

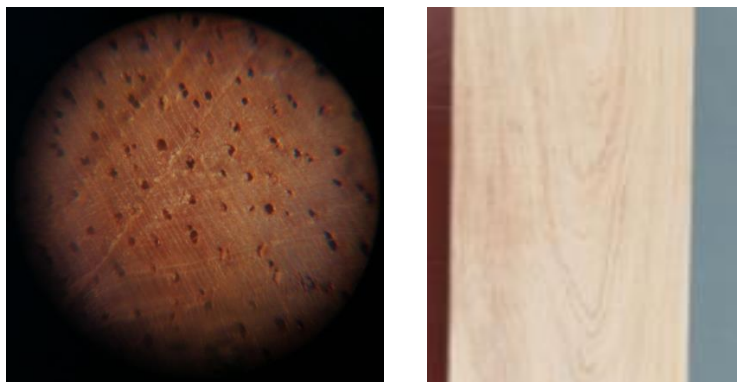


Fuente: Elaborado por el autor.

- 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 27. *Lauraceae indeterminada*

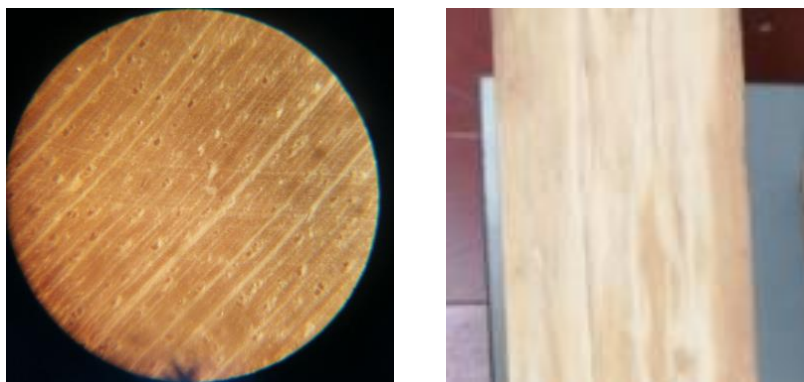


Fuente: Elaborado por el autor.

Especie sin caracterizar.

- ***Couma macocarpa Barb. Rodr:***

Figura 28. *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.

2.5 Obtención *Guadua angustifolia kunth*.

La guadua que se utiliza en la construcción de las vigas es de la especie *Guadua angustifolia kunth*, se obtuvo en la región de El Socorro, Santander – Colombia (Figura 29), municipio ubicado sobre la cordillera oriental del sistema montañoso de los Andes, esta región tiene una temperatura media de 23°C, y se encuentra a una altitud media de 1.300 m. sobre el nivel del mar, el relieve varía entre fuertemente escarpado con pendientes entre el 25% y 50%, al muy escarpado con pendientes mayores al 75%.

El municipio cuenta con una gran variedad de fauna y flora, debido a la riqueza hidrográfica de la cuenca del Río Suarez, que nace en el departamento de Boyacá en la Laguna de Fuquene y entra por el sur del departamento junto al Río Chicamocha para recibir al Río Fonce, durante su recorrido el Río Fonce recibe a la quebrada Honda con sus afluentes. Este territorio presenta un bosque húmedo premontano entre los 1.200 y 2000 msnm. y un bosque seco tropical entre los 900 y los 1.200 msnm.

Figura 29. Obtención de la *Guadua Angustifolia Kunth*



Fuente: Elaborado por el autor.

Se selecciona Guaduas que no cumple algunos requisitos mínimos de clasificación visual por defectos descrito en el título – G, G.12.3.2 del NSR10, pero que a su vez no afecta el diseño de los elementos estructurales estudiados en esta investigación, esta selección contribuye a optimizar el aprovechamiento de los guaduales y además reduce costos de fabricación (Figura 30).

Los parámetros que se tuvieron en cuenta en la selección visual fueron los siguientes:

- Piezas de Guadua que presentan deformación inicial del eje mayor al 33% de la longitud del elemento.

- Piezas de Guadua que presentan una conicidad superior al 1%, aprovechando la parte alta o varillón.
- Piezas de Guadua con fisuras longitudinales a lo largo del eje neutro del elemento.
- Piezas de guadua con agrietamiento superior al 20% de la longitud del culmo.
- No se aceptan Guaduas con algún grado de pudrición.

Figura 30. Clasificación y corte de la *Guadua Angustifolia Kunth*



Fuente: Elaborado por el autor.

2.6 Ensayos de contenido de humedad (CH) para el bambú *Guadua angustifolia Kunth* – NTC5525.

Para conocer el contenido de humedad de la guadua utilizada como esterilla para la parte superior e inferior de las vigas. Se utilizan los parámetros establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC5525 – Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia kunth*.

Se determina mediante el pesaje la pérdida de masa de la probeta de ensayo durante el sacado hasta una masa constante, se calcula la pérdida de masa como un porcentaje de la masa de la probeta del ensayo después del secado. La forma de las probetas debe ser prismática con anchura y altura aproximada de 25 mm y espesor igual al de la pared.

Las probetas se pesan en una balanza y se secan al horno a una temperatura de 103°C (Figura 31), después de 24 horas se registra la masa a intervalos de 2 horas, hasta que la diferencia entre las mediciones de la masa no exceda 0.01 g.

El contenido de humedad (CH) se calcula como la pérdida de masa expresada como porcentaje de la masa seca al horno, mediante la siguiente ecuación.

$$CH = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

m = masa de la probeta antes del secado.

m_o = masa de la probeta después del secado.

Figura 31. Secado de probetas en el horno.



Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 2. Contenido de humedad de la *Guadua Angustifolia Kunth*.

PROBETA	m (g)	m_o (g)	CH
G01	9.15	5.70	61%
G02	8.70	5.60	55%
G03	9.14	5.60	63%
G04	9.00	5.80	55%
G05	8.50	5.13	66%
G06	9.80	6.00	63%
G07	10.30	6.34	62%
G08	9.40	6.23	51%
G09	8.60	5.20	65%
G10	9.10	5.65	61%
G11	8.75	5.40	62%
G12	8.23	4.97	66%
G13	7.93	4.86	63%
G14	9.60	5.00	92%
		CH promedio	63%

Fuente: Elaborado por el autor.

2.7 Preparación de esterilla de bambú *Guadua angustifolia Kunth*.

En este proceso, se transforma la *Guadua* para elaborar las láminas de esterilla que se colocan en la parte superior e inferior del sistema, uniendo las piezas de madera

longitudinalmente y reforzándola ante esfuerzos de tracción y compresión debidos a flexión.

Con una hacha de mano se realizan incisiones en el nudo de forma paralela al eje longitudinal a la guadua, la separación entre cada corte se realiza cada 3 cm. aproximadamente, este procedimiento se lleva a cabo en todos los nudos generando fisuras en los entrenudos. Posteriormente se abre la guadua longitudinalmente y con un martillo se retiran los nudos. (Figura 32)

Figura 32. Proceso de fabricación de esterilla de *Guadua angustifolia kunth*



Fuente: Elaborado por el autor.

Es importante retirar el tejido paranquimático que cubre las fibras de la parte interior del culmo para garantizar la adhesión entre la madera y las fibras de guadua, este procedimiento se realiza con una lijadora de banda, desbastando la parte interior de la esterilla hasta que las fibras queden expuestas, así mismo es necesario retirar las ramas en la parte externa ya que en el prensado pueden generar rotaciones de la viga. (Figura 33)

Por último se corta la esterilla de 3 m. de largo y esterilla de 16 cm. por 20 cm.

Figura 33. Retiro del tejido parenquimático y ramas en la parte exterior de la *Guadua Angustifolia Kunth*



Fuente: Elaborado por el autor.

2.8 Ensamble de piezas de madera y *Guadua angustifolia* Kunth.

Las piezas de madera tienen una altura de 16 cm., esta altura corresponde a la máxima dimensión que se pudo recuperar teniendo en cuenta que todas las piezas deben tener la misma altura para garantizar igual presión de prensado a lo largo de todo el elemento. En el sentido longitudinal se usan diferentes dimensiones debido a que en algunos elementos es necesario cortar para eliminar defectos y cortar durante el proceso de deconstrucción. Para mantener uniforme la distribución de las piezas en esta investigación se logran longitudes de 260 cm., 130 cm., 86 cm. y 65 cm.

Para ensamblar las piezas se cuenta con un formato (ver anexos), que especifica el tipo de madera que se utiliza dentro del sistema encolado prensado, sus dimensiones y ubicación.

Se construyen 12 vigas con 6 configuraciones diferentes, en función de la longitud de las piezas. Para mantener los elementos de madera unidos durante el proceso de encolado y para garantizar la continuidad de las fibras de guadua que quedan fuera del alma, se utilizan uniones de madera de 16 cm. de altura, 5 cm. de ancho y 1.9 cm. de espesor, unidos a la madera reutilizada mediante grapas. (Figura 34)

Figura 34. Ensamble de vigas.



Fuente: Elaborado por el autor.

Una vez ensamblada la viga se pulen las uniones para garantizar que la presión en el proceso de encolado se distribuya de uniformemente en toda la viga. (Figura 35)

Figura 35. Proceso de lijar uniones para garantizar uniformidad en la superficie de la viga

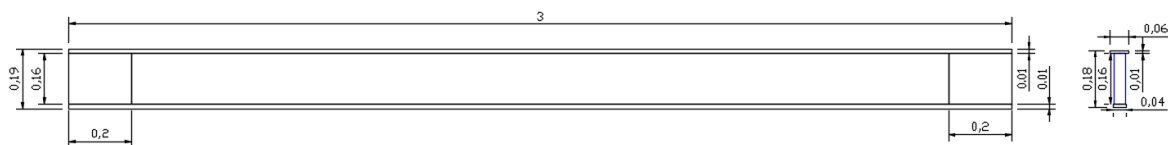


Fuente: Elaborado por el autor.

A continuación se describe la geometría de cada tipo de viga:

- Viga tipo 1:

Figura 36. Esquema viga tipo 1.



Fuente: Elaborado por el autor.

Elementos laterales: Madera reutilizada, dos piezas. Dimensiones, alto 16 cm., espesor 3.5 cm., 20 cm. de largo.

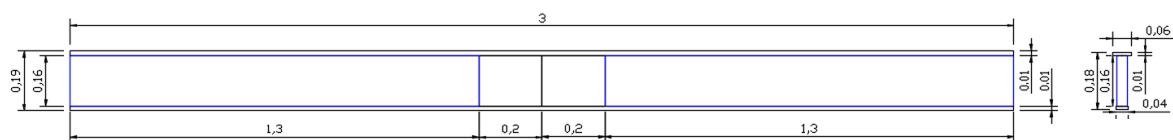
Elemento central: Madera reutilizada, una pieza. Dimensiones, alto 16 cm., espesor 3.5 cm., largo 260 cm.

Elemento superior: Lamina de esterilla de *Guadua Angustifolia Kunth*, en sistema laminado prensado estructural. Dimensiones, ancho 6 cm., espesor 1 cm., 300 cm. de largo.

Elemento inferior: Lamina de esterilla de *Guadua Angustifolia Kunth*, en sistema laminado prensado estructural. Dimensiones, ancho 4 cm., espesor 1 cm., 300 cm. de largo.

- Viga tipo 2:

Figura 37. Esquema viga tipo 2



Fuente: Elaborado por el autor.

Elementos laterales: Madera reutilizada, dos piezas de dimensiones iguales. Alto 16 cm., espesor 3.5 cm., largo 130 cm.

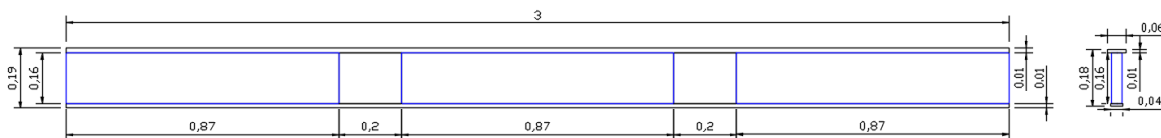
Elementos centrales: Madera reutilizada, dos piezas. Dimensiones, alto 16 cm., espesor 3.5 cm., 20 cm. de largo.

Elemento superior: Lamina de esterilla de *Guadua Angustifolia Kunth*, en sistema laminado prensado estructural. Dimensiones, ancho 6 cm., espesor 1 cm., 300 cm. de largo.

Elemento inferior: Lamina de esterilla de *Guadua Angustifolia Kunth*, en sistema laminado prensado estructural. Dimensiones, ancho 4 cm., espesor 1 cm., 300 cm. de largo.

- Viga tipo 3:

Figura 38. Esquema viga tipo 3



Fuente: Elaborado por el autor.

Elementos laterales: Madera reutilizada, dos piezas de dimensiones iguales. Alto 16 cm., espesor 3.5 cm., largo 87 cm.

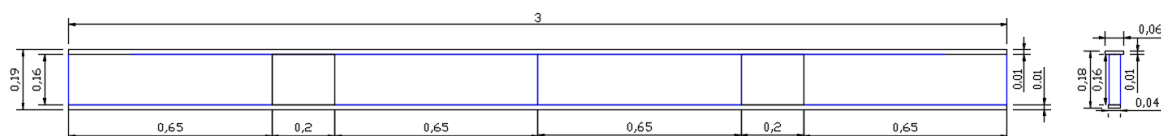
Elementos centrales: Madera reutilizada, dos piezas de dimensiones: alto 16 cm., espesor 3.5 cm., 20 cm. de largo y una pieza de dimensiones: alto 16 cm., espesor 3.5 cm., largo 87 cm.

Elemento superior: Lamina de esterilla de *Guadua Angustifolia Kunth*, en sistema laminado prensado estructural. Dimensiones, ancho 6 cm., espesor 1 cm., 300 cm. de largo.

Elemento inferior: Lamina de esterilla de *Guadua Angustifolia Kunth*, en sistema laminado prensado estructural. Dimensiones, ancho 4 cm., espesor 1 cm., 300 cm. de largo.

- Viga tipo 4:

Figura 39. Esquema viga tipo 4



Fuente: Elaborado por el autor.

Elementos laterales: Madera reutilizada, dos piezas de dimensiones iguales: Alto 16 cm., espesor 3.5 cm., largo 65 cm.

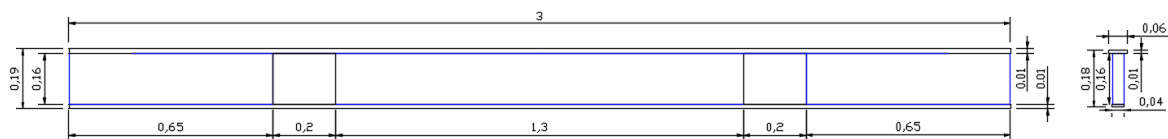
Elemento central: Madera reutilizada, dos piezas de dimensiones: alto 16 cm., espesor 3.5 cm., 20 cm. de largo y dos piezas de dimensiones: alto 16 cm., espesor 3.5 cm., largo 65 cm.

Elemento superior: Lamina de esterilla de *Guadua Angustifolia Kunth*, en sistema laminado prensado estructural. Dimensiones, ancho 6 cm., espesor 1 cm., 300 cm. de largo.

Elemento inferior: Lamina de esterilla de *Guadua Angustifolia Kunth*, en sistema laminado prensado estructural. Dimensiones, ancho 4 cm., espesor 1 cm., 300 cm. de largo.

- Viga tipo 5:

Figura 40. Esquema viga tipo 5



Fuente: Elaborado por el autor.

Elementos laterales: Madera reutilizada, dos piezas de dimensiones iguales: Alto 16 cm., espesor 3.5 cm., largo 65 cm.

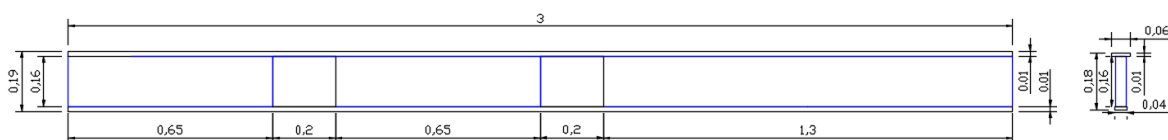
Elementos centrales: Madera reutilizada, dos piezas de dimensiones: alto 16 cm., espesor 3.5 cm., 20 cm. de largo y una pieza de dimensiones: alto 16 cm., espesor 3.5 cm., largo 130 cm.

Elemento superior: Lamina de esterilla de *Guadua Angustifolia Kunth*, en sistema laminado prensado estructural. Dimensiones, ancho 6 cm., espesor 1 cm., 300 cm. de largo.

Elemento inferior: Lamina de esterilla de *Guadua Angustifolia Kunth*, en sistema laminado prensado estructural. Dimensiones, ancho 4 cm., espesor 1 cm., 300 cm. de largo.

- Viga tipo 6:

Figura 41. Esquema viga tipo 6



Fuente: Elaborado por el autor.

Elementos laterales: Madera reutilizada, dos piezas de dimensiones: Alto 16 cm., espesor 3.5 cm., largo 65 cm. y Alto 16 cm., espesor 3.5 cm., largo 130 cm.

Elemento central: Madera reutilizada, tres piezas. Una pieza de dimensiones: Alto 16 cm., espesor 3.5 cm., largo 65 cm.. Dos piezas de dimensiones: Alto 16 cm., espesor 3.5 cm., largo 20 cm.

Elemento superior: Lamina de esterilla de *Guadua Angustifolia Kunth*, en sistema laminado prensado estructural. Dimensiones, ancho 6 cm., espesor 1 cm., 300 cm. de largo.

Elemento inferior: Lamina de esterilla de *Guadua Angustifolia Kunth*, en sistema laminado prensado estructural. Dimensiones, ancho 4 cm., espesor 1 cm., 300 cm. de largo.

2.9 Encolado y prensado de vigas.

El adhesivo utilizado para adherir la esterilla de *Guadua angustifolia kunth* es úrea melamina formaldehído (MUF1442), este polímero termoestable debe mezclarse con un catalizador (Hardener 2542) (Figura 42) para originar la policondensación de la resina y producir el fraguado, el tiempo de fraguado está determinado por la temperatura en el momento de la aplicación de la mezcla. Se debe garantizar una presión uniforme en los elementos a adherir durante un tiempo establecido, luego se deben curar los elementos pegados durante un tiempo determinado por la temperatura ambiente.

La urea melamina formaldehído (MUF1442) es un líquido viscoso de color blanco que tiene una densidad de 1.5 g/cm^3 . El catalizador (Hardener 2542) es un líquido viscoso de color rosa que tiene una densidad de 1.3 g/cm^3 .

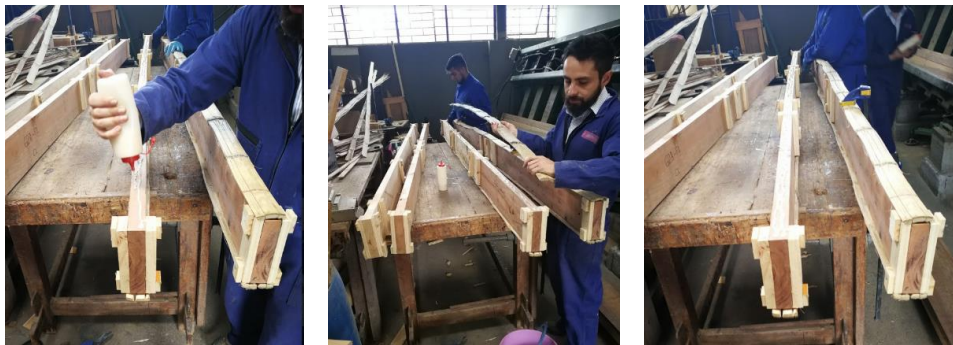
Figura 42. Úrea melamina formaldehído (MUF1442) y catalizador (Hardener 2542)



Fuente: Elaborado por el autor.

Según las recomendaciones del fabricante se debe mezclar la resina y el catalizador en una proporción de 100 partes en peso de urea melamina formaldehído (MUF1442) y 15 partes en peso de catalizador (Hardener 2542) a una temperatura ambiente de 20°C . (Figura 43)

Figura 43. Encolado de vigas.



Fuente: Elaborado por el autor.

El prensado se realiza con una prensa hidráulica con capacidad de ejercer una presión máxima de 250 kg/cm^2 . De acuerdo con las propiedades del adhesivo utilizado las vigas

se someten a una presión uniforme y constante de 10kg/cm^2 durante 7 horas, cada hora se verifica la presión de la prensa hidráulica y en caso de existir pérdidas de presión se corrige. (Figura 44)

Figura 44. Prensado de vigas.



Fuente: Elaborado por el autor.

Retirada la presión las vigas se someten a un proceso de curado de la línea de cola de 120 horas a temperatura ambiente sin movimiento y sin carga. (Figura 45)

Figura 45. Curado de vigas



Fuente: Elaborado por el autor.

2.10 Determinación del contenido de humedad de las piezas de madera reutilizada.

Teniendo en cuenta que la madera pierde rigidez y resistencia al aumentar el contenido de humedad, es necesario realizar la medición del contenido de humedad de cada madera antes de realizar el ensayo de flexión.

Para determinar el contenido de humedad de las piezas que componen cada viga se utiliza un medidor de humedad de madera electrónico que funciona bajo el principio de resistencia eléctrica, este equipo realiza mediciones precisas en madera aserrada con espesores menores a 180 mm. (Figura 46)

Este dispositivo es utilizado industrialmente para tomar mediciones en serie antes de procesar la madera, además cuenta con un sistema que ajusta el valor medido en función de la temperatura de la madera y de su densidad.

Figura 46. Mediciones de contenidos de humedad para la madera reutilizada.

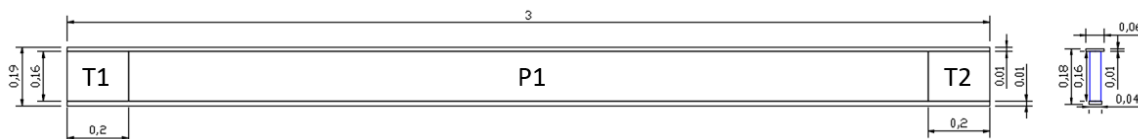


Fuente: Elaborado por el autor.

A continuación se presenta la medición del contenido de humedad de cada pieza de madera reutilizada.

- Viga G1A:

Figura 47. Esquema viga tipo 1.



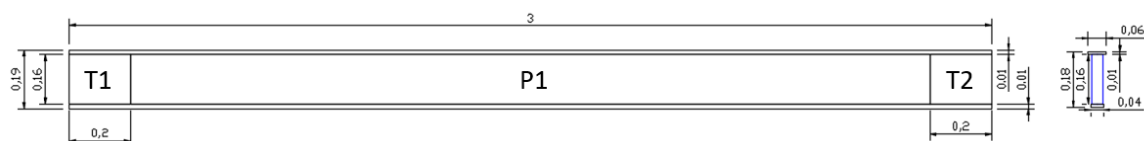
Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 3. Contenido de humedad viga G1A.

Pieza	CH %	A (m2)
T1	13.6	0.032
P1	16.4	0.416
T2	14.4	0.032

Fuente: Elaborado por el autor.

- Viga G1B:

Figura 48. Esquema viga tipo 1.

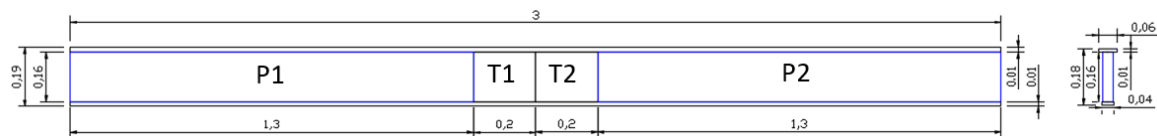
Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 4. Contenido de humedad viga G1B.

Pieza	CH %	A (m2)
T1	12.7	0.032
P1	11.9	0.416
T2	14.0	0.032

Fuente: Elaborado por el autor.

- Viga G2A:

Figura 49. Esquema viga tipo 2.

Fuente: Elaborado por el autor.

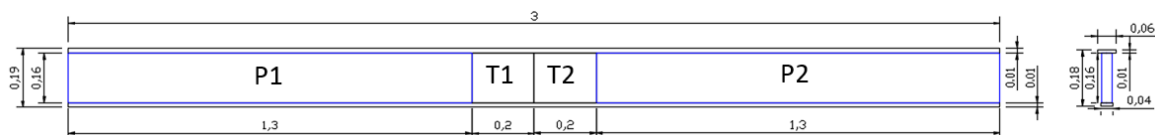
Tabla 5. Contenido de humedad viga G2A.

Pieza	CH %	A (m2)
P1	13.2	0.208
T1	14.3	0.032
T2	13.8	0.032
P2	12.9	0.208

Fuente: Elaborado por el autor.

- Viga G2B:

Figura 50. Esquema viga tipo 2.



Fuente: Elaborado por el autor.

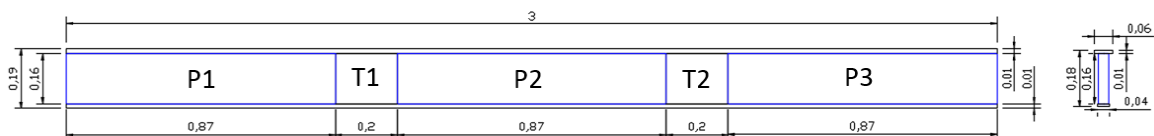
Tabla 6. Contenido de humedad viga G2B.

Pieza	CH %	A (m2)
P1	14.6	0.208
T1	15.2	0.032
T2	13.1	0.032
P2	12.9	0.208

Fuente: Elaborado por el autor.

- Viga G3A:

Figura 51. Esquema viga tipo 3.



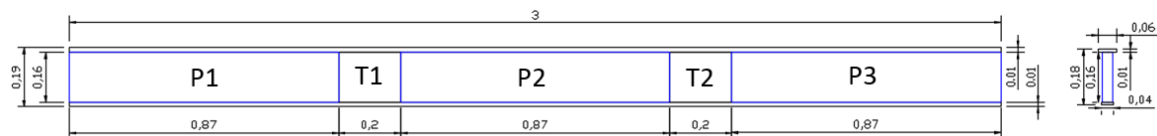
Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 7. Contenido de humedad viga G3A.

Pieza	CH %	A (m2)
P1	14.9	0.1392
T1	11.1	0.032
P2	13.6	0.1392
T2	15.4	0.032
P3	13.9	0.1392

Fuente: Elaborado por el autor.

- Viga G3B:

Figura 52. Esquema viga tipo 3.

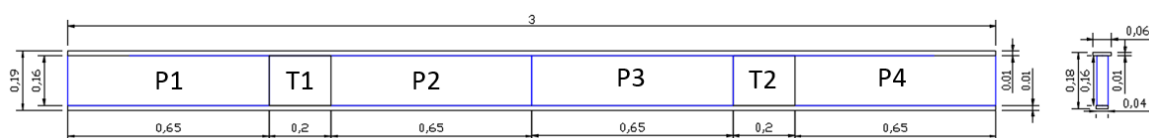
Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 8. Contenido de humedad viga G3B.

Pieza	CH %	A (m2)
P1	12.0	0.1392
T1	12.8	0.032
P2	16.3	0.1392
T2	16.1	0.032
P3	17.4	0.1392

Fuente: Elaborado por el autor.

- Viga G4A:

Figura 53. Esquema viga tipo 4.

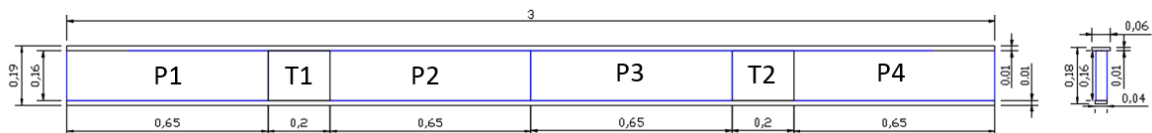
Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 9. Contenido de humedad viga G4A.

Pieza	CH %	A (m2)
P1	16.5	0.104
T1	14.9	0.032
P2	13.1	0.104
P3	13.3	0.104
T2	16.1	0.032
P4	15.3	0.104

- Viga G4B:

Figura 54. Esquema viga tipo 4.



Fuente: Elaborado por el autor.

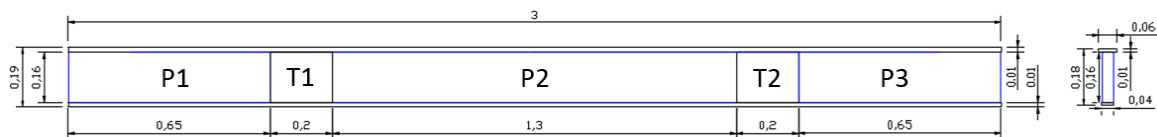
Tabla 10. Contenido de humedad viga G4B.

Pieza	CH %	A (m2)
P1	14.7	0.104
T1	13.8	0.032
P2	14.6	0.104
P3	14.9	0.104
T2	13.5	0.032
P4	14.0	0.104

Fuente: Elaborado por el autor.

- Viga G5A:

Figura 55. Esquema viga tipo 5.



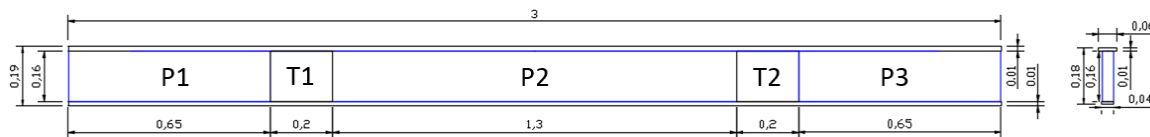
Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 11. Contenido de humedad viga G5A.

Pieza	CH %	A (m2)
P1	13.7	0.104
T1	15.3	0.032
P2	11.0	0.208
T2	13.9	0.032
P3	15.8	0.104

Fuente: Elaborado por el autor.

- Viga G5B:

Figura 56. Esquema viga tipo 5.

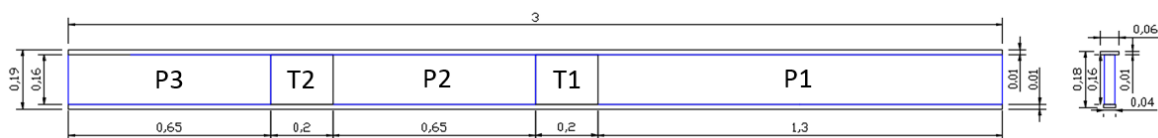
Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 12. Contenido de humedad viga G5B.

Pieza	CH %	A (m2)
P1	14.5	0.104
T1	17.0	0.032
P2	13.8	0.208
T2	13.4	0.032
P3	16.0	0.104

Fuente: Elaborado por el autor.

- Viga G6A:

Figura 57. Esquema viga tipo 6.

Fuente: Elaborado por el autor.

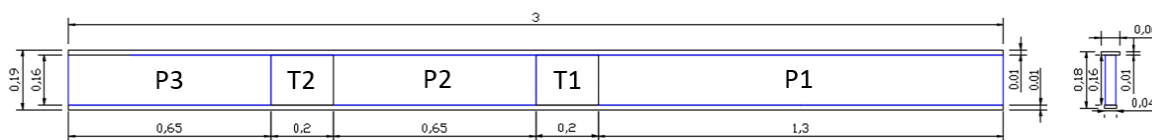
Tabla 13. Contenido de humedad viga G6A.

Pieza	CH %	A (m2)
P1	15.8	0.208
T1	15.0	0.032
P2	15.1	0.104
T2	15.7	0.032
P3	15.4	0.104

Fuente: Elaborado por el autor.

- Viga G6B:

Figura 58. Esquema viga tipo 6.



Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 14. Contenido de humedad viga G6B.

Pieza	CH %	A (m2)
P1	13.3	0.208
T1	13.4	0.032
P2	16.6	0.104
T2	11.2	0.032
P3	13.6	0.104

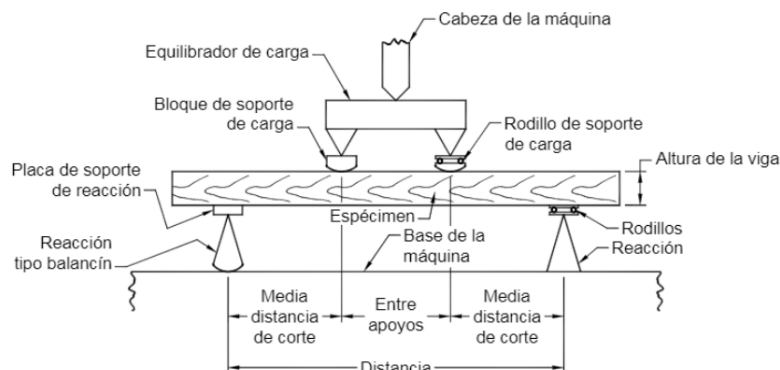
Fuente: Elaborado por el autor.

2.11 Ensayos de flexión para madera en tamaños estructurales ASTM D198 - NTC5279.

Para realizar los ensayos de flexión se toma como parámetro la norma técnica colombiana NTC5279. Métodos de ensayo estáticos para madera en tamaños estructurales, basada en la norma ASTM D198 Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes.

El método de ensayo para determinar las propiedades de flexión en vigas estructurales de madera maciza o laminada es aplicable en vigas de sección rectangular, vigas en I y secciones especiales.

En este método la viga se somete a un momento flector mientras se sostiene cerca de sus extremos en apoyos llamados reacciones y se le aplican dos cargas transversales impuestas simétricamente entre las reacciones. La viga se deforma a una velocidad constante.

Figura 59. Ensayo método de flexión NTC5279

Fuente. NTC 5279

El ensayo se realiza hasta la ruptura, se toman mediciones de la deflexión de la viga en el centro de la luz con un comparador de caratula hasta alcanzar la deformación máxima permitida en las deflexiones admisibles contempladas en el título G del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10.

Tabla 15. Deflexiones admisibles en vigas NSR10

Tipo de Construcción	Cargas Vivas ℓ/k^*	Viento o Granizo ℓ/k^*	Cargas Totales ℓ/k^*
Elementos de techo/Cubierta			
Cubiertas inclinadas	Nota 1	Nota 1	Nota 1
Cielorascos de pañete o yeso	$\ell/360$	$\ell/360$	$\ell/300$
Otros cielos rasos	$\ell/300$	$\ell/240$	$\ell/240$
Sin cielo raso	$\ell/300$	$\ell/240$	$\ell/240$
Techos planos	Nota 1	Nota 1	$\ell/300$
Elementos de entrepiso	$\ell/360$	—	$\ell/300$
Pisos rigidizados			$\ell/360$
Muros exteriores y particiones interiores			
Con acabados frágiles	—	$\ell/240$	—
Con acabados flexibles	—	$\ell/240$	—
Edificaciones industriales	—		$\ell/200$
Edificaciones provisionales			(3) $\ell/160$
Formaletas para concreto			(3) $\ell/360$ ó 3 mm
Forros para columnas - vigas			(3) $\ell/360$ ó 1.6 mm

Notas:

1. En función del tipo de cielo raso
2. Mediante evaluación de deformaciones totales, a largo plazo éstas no deberán invertir pendientes de drenaje en techos, ni en áreas expuestas a lluvia o granizo
3. Considerando únicamente la deflexión inicial Δi , con $W = D + L$, con carga viva de construcción (L) = (240 kg/m²), si ésta interviene

Donde:

 ℓ = luz del elemento a flexión como se define en G.3.1.5. k^* = Coeficiente de limitación de deflexiones.

Fuente: Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR10

Teniendo en cuenta que la luz del elemento sometido a flexión es de 2820 mm, el coeficiente de limitación de deflexiones máximo es de 360 para cargas totales en piso rígidos, se acepta una deflexión máxima de 7.83 mm. Se toman mediciones de deflexión con el comparador de caratula hasta los 8mm. (Figura 60)

Figura 60. Comparador de caratula.



Fuente: Elaborado por el autor.

Para realizar el ensayo se utiliza una maquina universal de ensayos mecánicos que ejerce una carga puntual, la cual se distribuye en dos bloques de carga ubicados a 1020 mm. de cada reacción. Los soportes de carga y las reacciones están dispuestos de tal forma que no restringen la rotación de la viga respecto a la reacción debido a la deflexión. (Figura 61)

Figura 61. Maquina universal de ensayo.



Fuente: Elaborado por el autor.

El ensayo se realiza a una velocidad constante de 1.5 mm/min, correspondiente a la velocidad de deformación de la fibra, mm/mm de la longitud de la fibra exterior, por minuto.

La máquina universal suministra el registro de la carga y el desplazamiento del cabezal de carga, sin embargo se corrigen los datos de desplazamiento teniendo en cuenta el registro de deflexión del comparador de caratula ubicado en el centro de la luz, a una distancia de 1410 mm de las reacciones. (Figura 62)

Con los datos obtenidos de deflexión del eje neutro de la viga para cada estado de carga se realizan curvas fuerza vs desplazamiento para determinar el comportamiento mecánico de la viga hasta la ruptura.

Figura 62. Montaje ensayo de flexión.



Fuente: Elaborado por el autor.

A continuación se presentan los datos de la carga para cada 0.5 mm de deformación medida con el comparador de caratula.

- G1A

Figura 63. Ensayo de flexión viga G1A.

G1A	
mm	kgf
0	0
0.5	27.7
1	54.47
1.5	79.5
2	106.7
2.5	133.1
3	159.5
3.5	184.6
4	211.9
4.5	237.4
5	259.33
5.5	282.2
6	305.8
6.5	327.4
7	342.57
7.5	364.8
8	386.4



Fuente: Elaborado por el autor.

- G1B

Figura 64. Ensayo de flexión viga G1B.

G1B	
mm	kgf
0	0
0.5	31.2
1	58.9
1.5	112.7
2	138.6
2.5	162.3
3	187.5
3.5	212.2
4	236.8
4.5	260.8
5	260.8
5.5	275.03
6	294.9
6.5	317.6
7	339.4
7.5	359.7
8	382.9



Fuente: Elaborado por el autor.

- G2A

Figura 65. Ensayo de flexión viga G2A.

G2A	
mm	kgf
0	0
0.5	21.6
1	40.4
1.5	57.67
2	75.87
2.5	92.8
3	110.4
3.5	127.8
4	143.9
4.5	160.7
5	176.8
5.5	194
6	210
6.5	226.13
7	240.5
7.5	258
8	272.8



Fuente: Elaborado por el autor.

- G2B

Figura 66. Ensayo de flexión viga G2B.

G2B	
mm	kgf
0	0
0.5	16.9
1	32.73
1.5	47.8
2	61.6
2.5	77.4
3	92
3.5	106.67
4	120.87
4.5	134.73
5	149.27
5.5	162.98
6	176.6
6.5	189.6
7	197.83



Fuente: Elaborado por el autor.

- G3A

Figura 67. Ensayo de flexión viga G3A.

G3A	
mm	kgf
0	0
0.5	17.8
1	34.8
1.5	53.4
2	70
2.5	88.07
3	105.8
3.5	123.03
4	140
4.5	155.87
5	171.73
5.5	186
6	202.5
6.5	217.33
7	231.87
7.5	234.37



Fuente: Elaborado por el autor.

- G3B

Figura 68. Ensayo de flexión viga G3B.

G3B	
mm	kgf
0	0
0.5	30.6
1	44.07
1.5	57.75
2	60.93
2.5	79.87
3	88.4
3.5	99.07
4	109.73
4.5	119.6
5	129.6
5.5	139.27
6	146.93
6.5	155.73
7	163.2
7.5	170.8
8	177.93



Fuente: Elaborado por el autor.

- G4A

Figura 69. Ensayo de flexión viga G4A.

G4A	
mm	kgf
0	0
0.5	33.47
1	50.5
1.5	66.6
2	81.93
2.5	97.53
3	114.6
3.5	130.07
4	147.4
4.5	164.8
5	181.3
5.5	198.33
6	215.13
6.5	232.4
7	248.4
7.5	264.57
8	279.2



Fuente: Elaborado por el autor.

- G4B

Figura 70. Ensayo de flexión viga G4B.

G4B	
mm	kgf
0	0
0.5	20.8
1	40.4
1.5	58.73
2	79.87
2.5	95.93
3	113.2
3.5	129.8
4	145.67
4.5	162.4
5	178.8
5.5	194.5
6	211.4
6.5	226.8
7	242.8
7.5	258.5
8	273.6

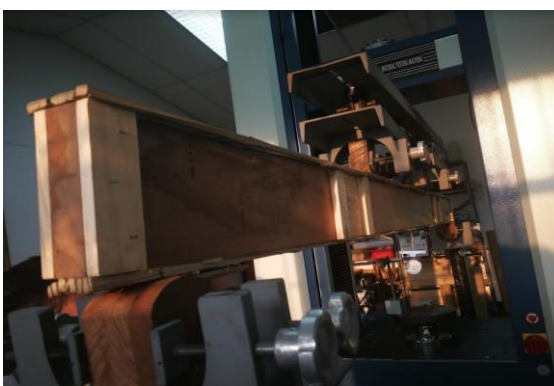


Fuente: Elaborado por el autor.

- G5A

Figura 71. Ensayo de flexión viga G5A.

G5A	
mm	kgf
0	0
0.5	26.6
1	51.73
1.5	74.07
2	93.67
2.5	109.73
3	132
3.5	152.92
4	171.73
4.5	187.73
5	204.23
5.5	218.4
6	227.33
6.5	244.13
7	261.07
7.5	274.8
8	287.53



Fuente: Elaborado por el autor.

- G5B

Figura 72. Ensayo de flexión viga G5B.

G5B	
mm	kgf
0	0
0.5	20.47
1	39.8
1.5	59.3
2	77.32
2.5	95.45
3	115.27
3.5	132.93
4	150.93
4.5	164.13
5	179.8
5.5	195.53
6	212.1
6.5	228
7	244.13
7.5	258
8	271.87



Fuente: Elaborado por el autor.

- G6A

Figura 73. Ensayo de flexión viga G6A.

G6A	
mm	kgf
0	0
0.5	17.8
1	32.73
1.5	47.2
2	61.6
2.5	75.73
3	90
3.5	104.8
4	121.2
4.5	135.93
5	150.87
5.5	165.93
6	180.87
6.5	195.8
7	210.27
7.5	225.7
8	240.13



Fuente: Elaborado por el autor.

- G6B

Figura 74. Ensayo de flexión viga G6B.

G6B	
mm	kgf
0	0
0.5	39.88
1	58.73
1.5	76.4
2	93.03
2.5	111.73
3	128.4
3.5	146.67
4	163.1
4.5	179.5
5	195.33
5.5	210.83
6	226.27
6.5	240.73
7	255.07
7.5	268.86
8	280.08



Fuente: Elaborado por el autor.

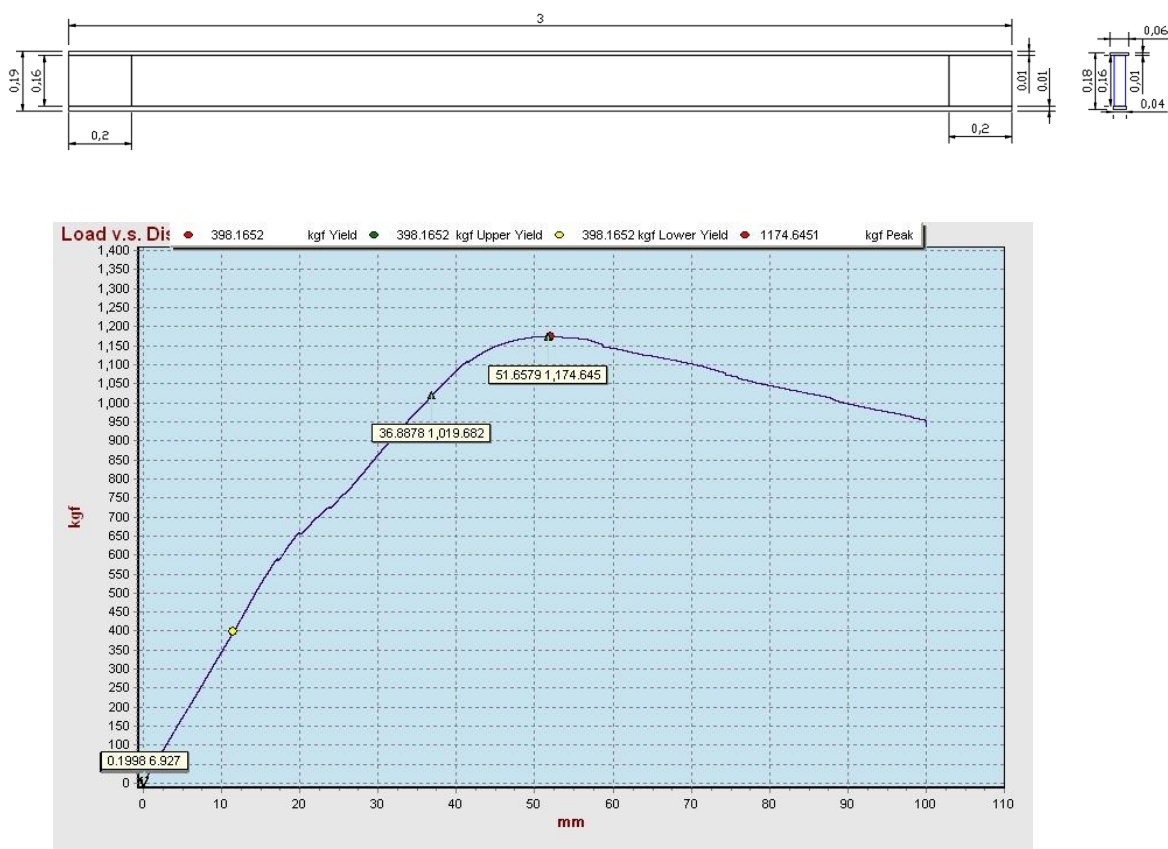
3. Cálculos y resultados

3.1 Curvas fuerza vs desplazamiento.

Para cada viga se registraron los valores de fuerza (kgf) y desplazamiento (mm) obteniendo las siguientes curvas:

- G1A

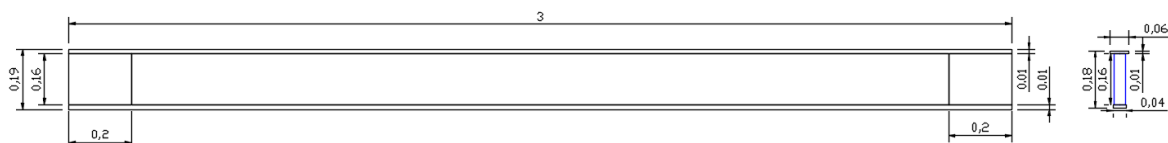
Figura 75. Gráfico de carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm) viga G1A.

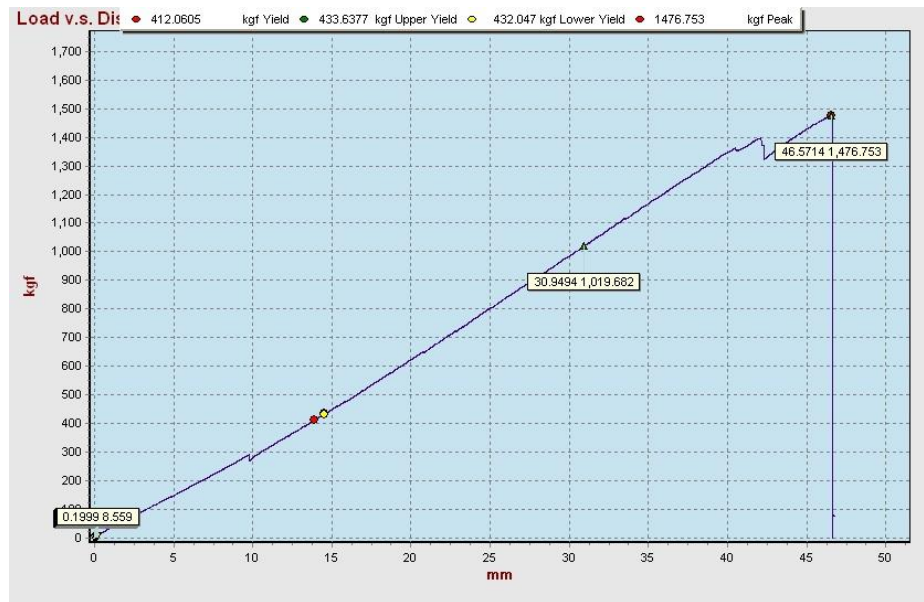


Fuente: Elaborado por el autor.

- G1B

Figura 76. Gráfico de carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm) viga G1B.

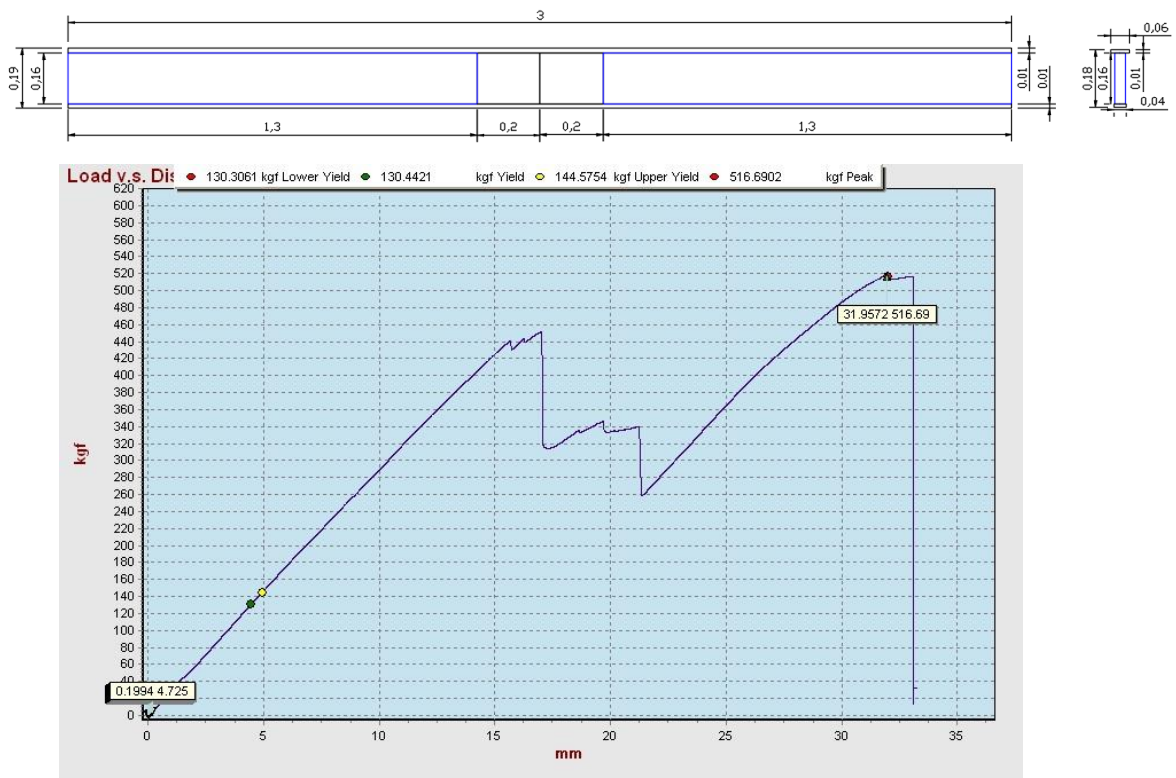




Fuente: Elaborado por el autor.

- G2A

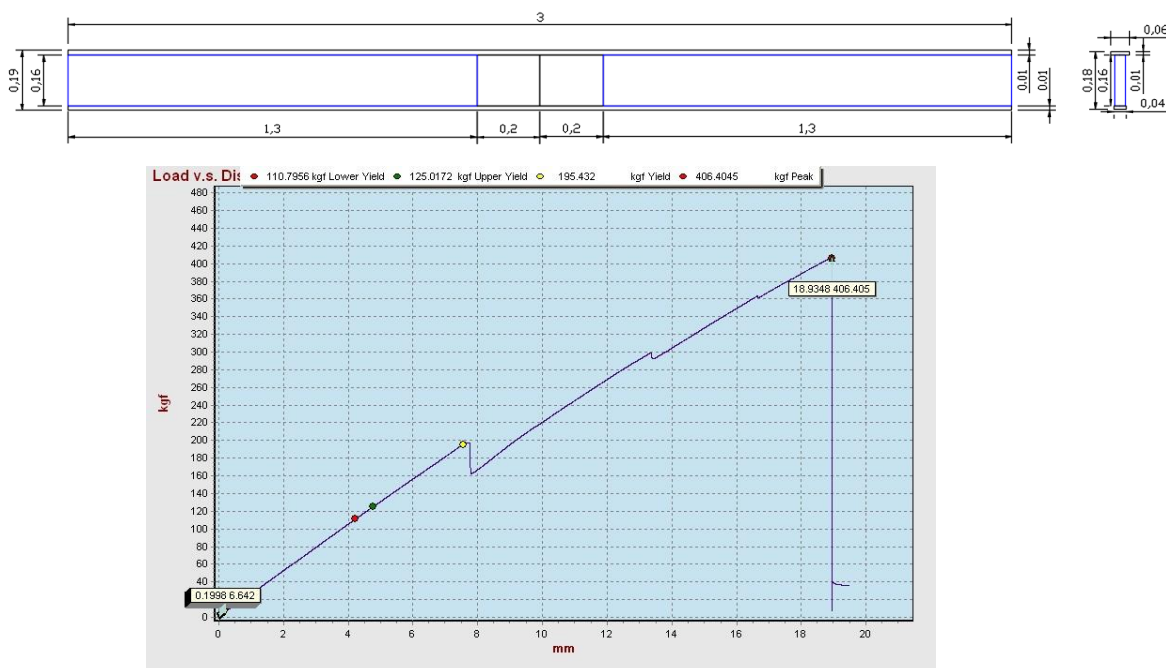
Figura 77. Gráfico de carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm) viga G2A.



Fuente: Elaborado por el autor.

- G2B

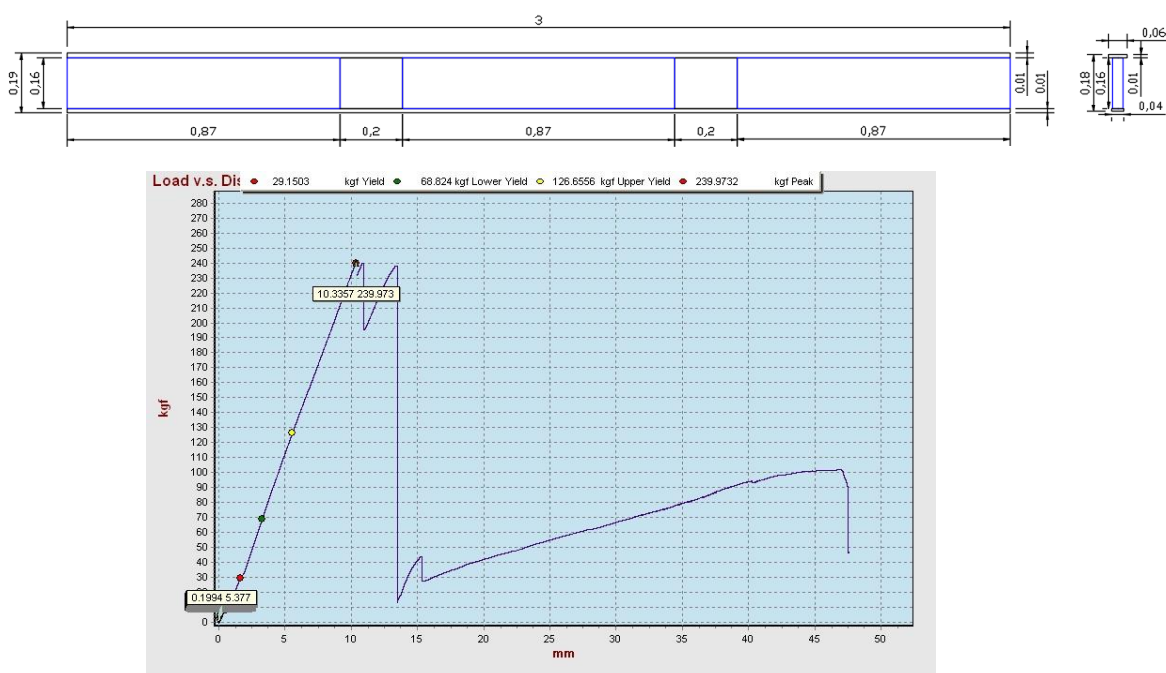
Figura 78. Gráfico de carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm) viga G2B.



Fuente: Elaborado por el autor.

- G3A

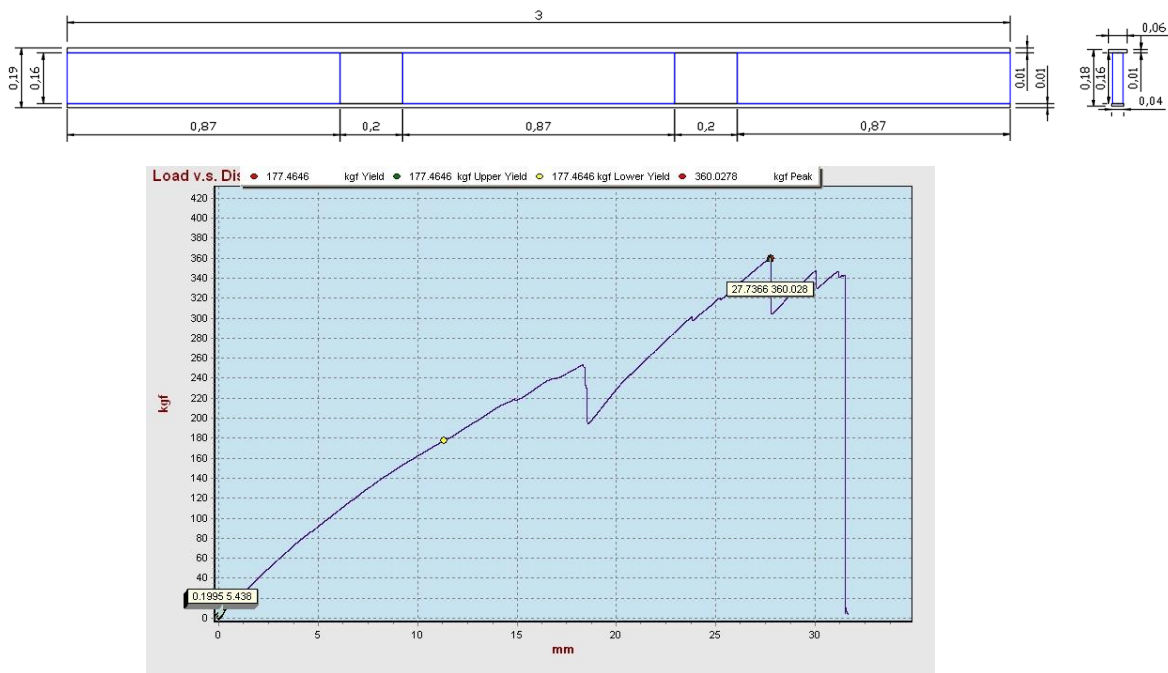
Figura 79. Gráfico de carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm) viga G3A.



Fuente: Elaborado por el autor.

- G3B

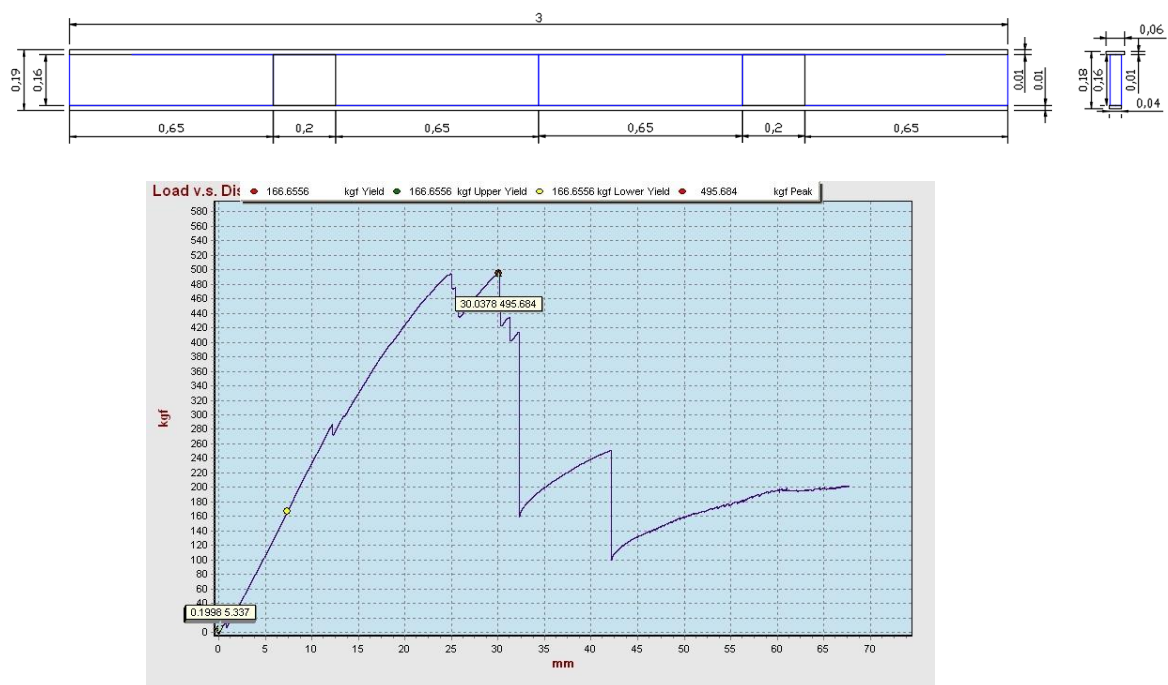
Figura 80. Gráfico de carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm) viga G3B.



Fuente: Elaborado por el autor.

- G4A

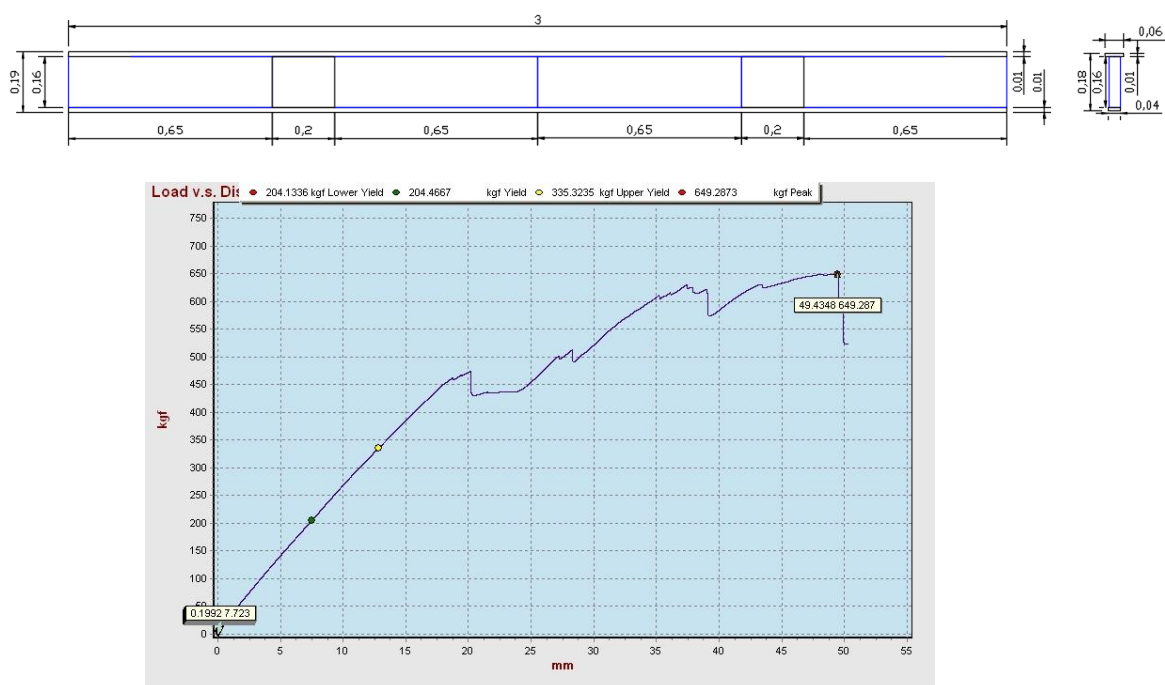
Figura 81. Gráfico de carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm) viga G4A.



Fuente: Elaborado por el autor.

- G4B

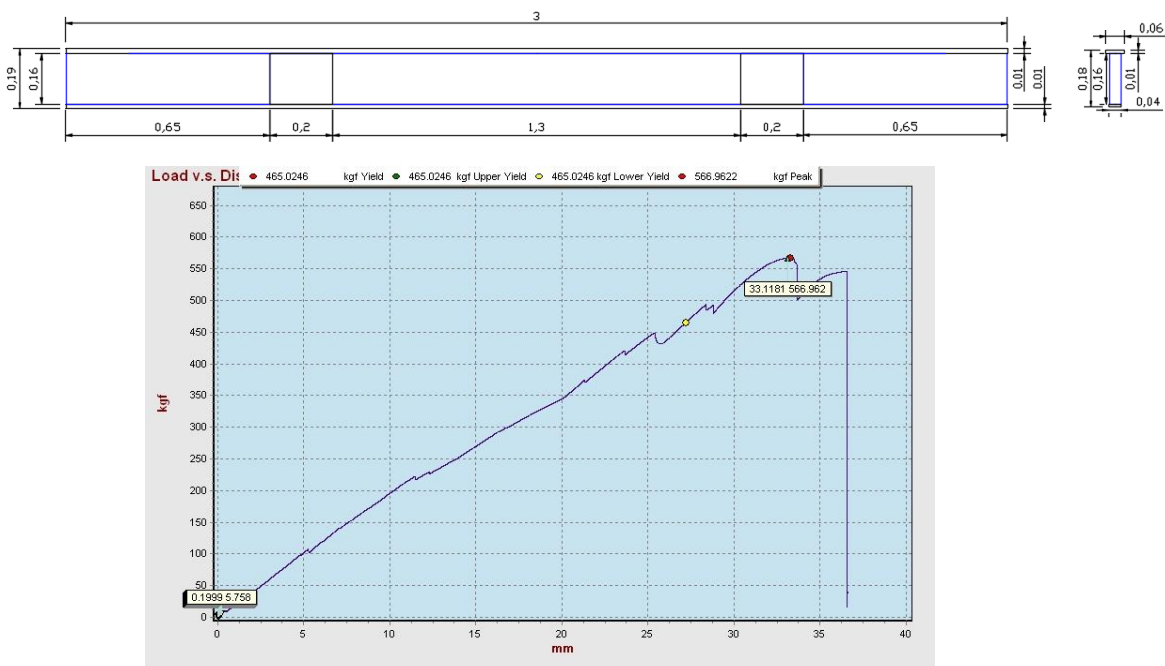
Figura 82. Gráfico de carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm) viga G4B.



Fuente: Elaborado por el autor.

- G5A

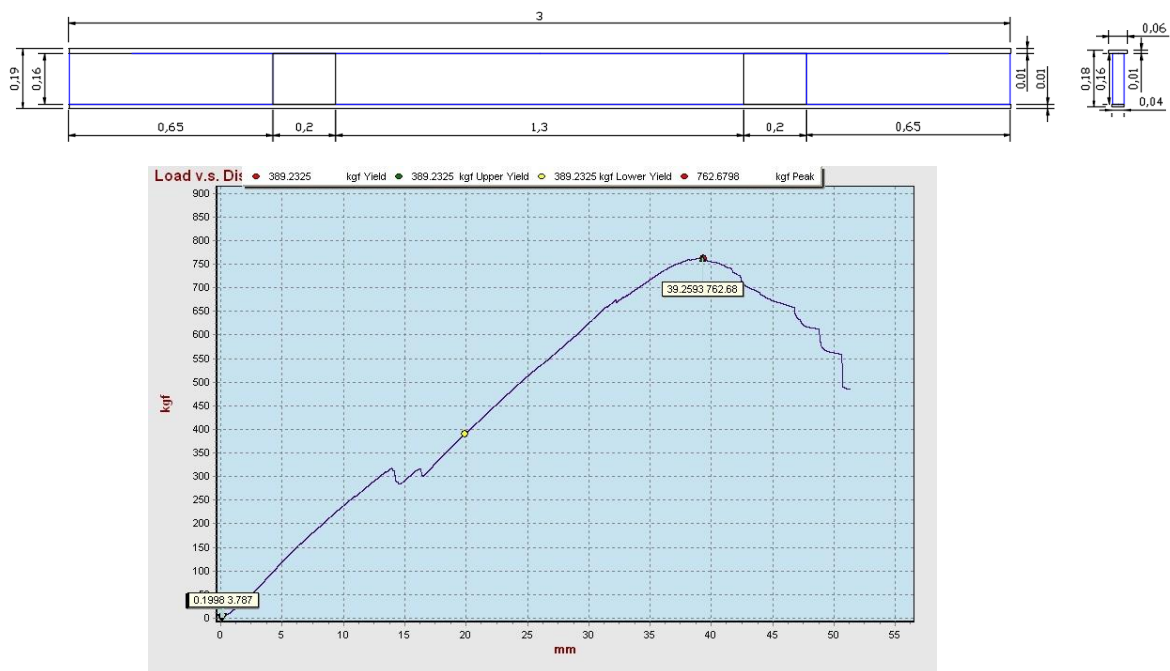
Figura 83. Gráfico de carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm) viga G5A.



Fuente: Elaborado por el autor.

- G5B

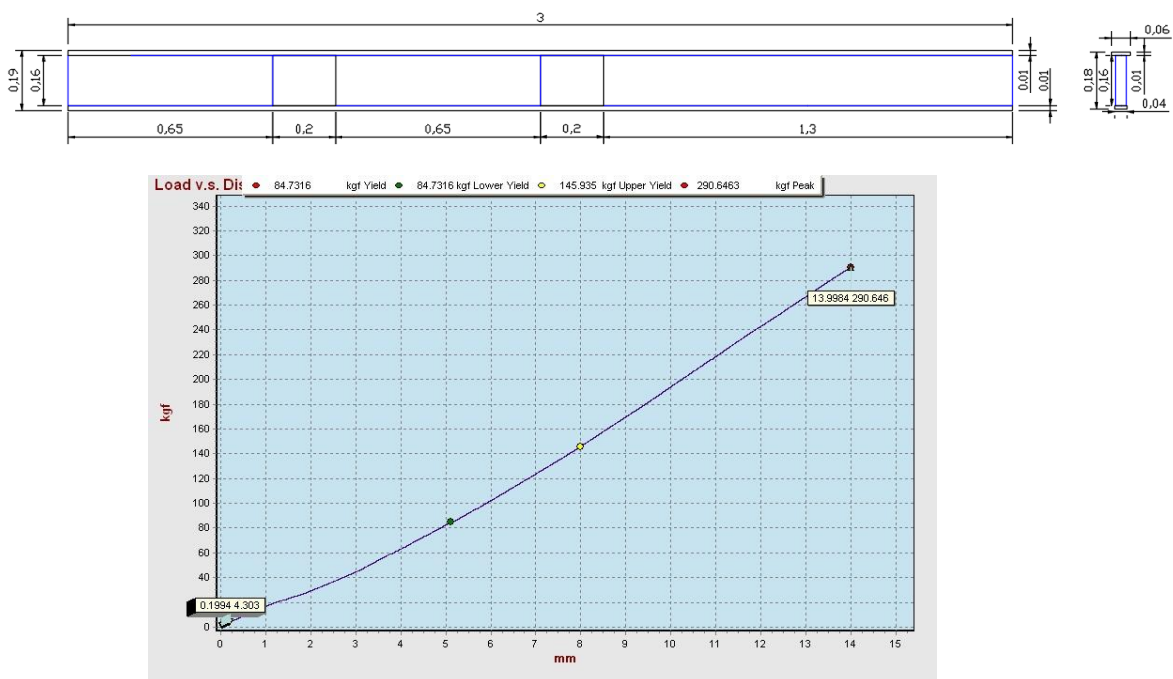
Figura 84. Gráfico de carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm) viga G5B.



Fuente: Elaborado por el autor.

- G6A

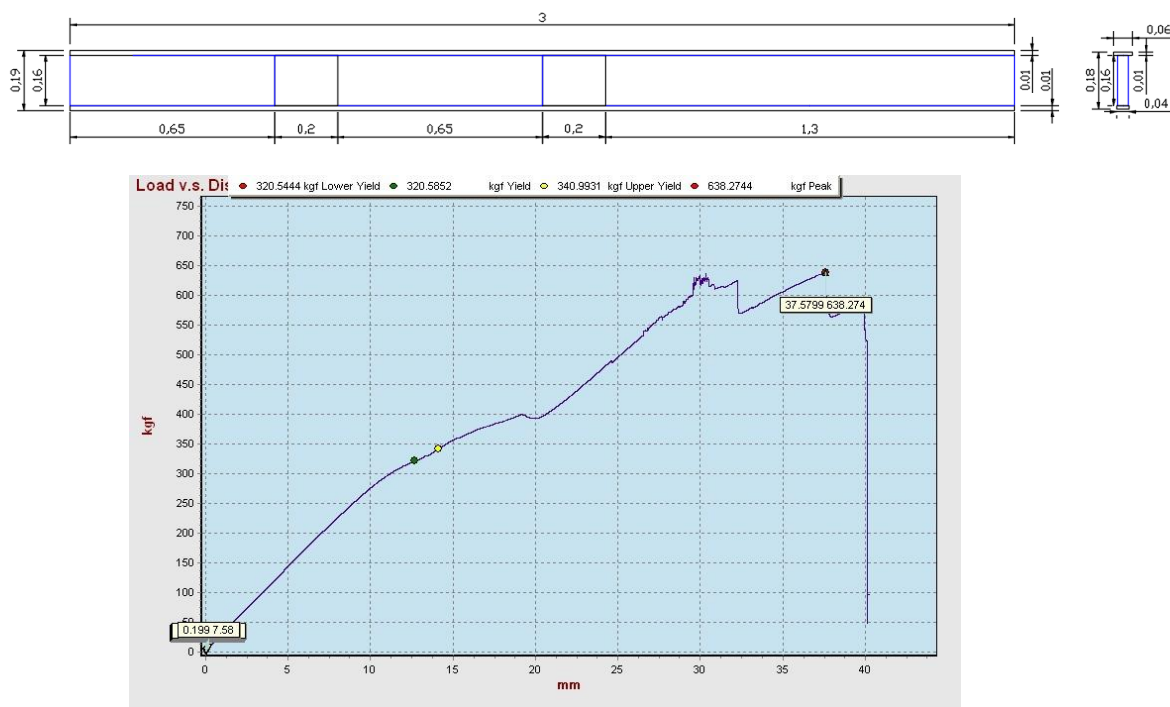
Figura 85. Gráfico de carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm) viga G6A.



Fuente: Elaborado por el autor.

- G6B

Figura 86. Gráfico de carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm) viga G6B.



Fuente: Elaborado por el autor.

3.2 Esfuerzo cortante, momento flector y deflexión para la carga máxima.

Con los datos obtenidos en el ensayo de flexión siguiendo los parámetros descritos en las normas ASTM D198 - NTC5279 se realiza el cálculo del esfuerzo cortante y momento flector máximo para cada probeta.

Teniendo en cuenta la condición de carga en el ensayo de flexión se tienen los siguientes diagramas de esfuerzo cortante y momento flector en función de la carga aplicada.

En este orden de ideas el esfuerzo cortante máximo para las probetas ensayadas está determinado por la siguiente ecuación:

$$V_{max} = P_{max}/2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

V_{max} = Fuerza Cortante máxima

P_{max} = Carga máxima registrada en el ensayo.

Tabla 16. Cortante para la carga máxima.

Probeta	Carga máxima <i>P</i> (kgf)	Carga máxima <i>P</i> (N)	Cortante <i>V</i> (N)
G1A	1174.65	11519.33	5759.67
G1B	1476.75	14482.00	7241.00
G2A	516.69	5067.00	2533.50
G2B	406.41	3985.47	1992.74
G3A	239.97	2353.30	1176.65
G3B	360.03	3530.67	1765.33
G4A	495.68	4861.00	2430.50
G4B	649.29	6367.33	3183.67
G5A	566.96	5560.00	2780.00
G5B	812.34	7966.33	3983.17
G6A	290.65	2850.26	1425.13
G6B	638.27	6259.33	3129.66

Fuente: Elaborado por el autor.

Por otro lado se calcula el momento flector máximo, ubicado en el tercio central de la distancia entre los apoyos de la viga, se calcula con la ecuación:

$$M_{max} = \left(\frac{P_{max}}{2} \right) * a \quad (\text{Ecuación 3})$$

*M*_{max}= Momento flector máximo

*P*_{max}= Carga máxima registrada en el ensayo.

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

Tabla 17. Momento flector en la carga máxima.

Probeta	Carga máxima <i>P</i> (kgf)	Carga máxima <i>P</i> (N)	<i>a</i> (mm)	Momento <i>M</i> (N*mm)
G1A	1174.65	11519.33	940.00	5414086.22
G1B	1476.75	14482.00	940.00	6806539.91
G2A	516.69	5067.00	940.00	2381489.05
G2B	406.41	3985.47	940.00	1873171.65
G3A	239.97	2353.30	940.00	1106051.85
G3B	360.03	3530.67	940.00	1659414.24
G4A	495.68	4861.00	940.00	2284669.76
G4B	649.29	6367.33	940.00	2992645.27
G5A	566.96	5560.00	940.00	2613199.01
G5B	812.34	7966.33	940.00	3744177.01
G6A	290.65	2850.26	940.00	1339623.89
G6B	638.27	6259.33	940.00	2941884.97

Fuente: Elaborado por el autor.

Para cada probeta se registra la deflexión en la carga máxima y se relaciona con el valor de carga máxima, cortante y momento flector en la siguiente tabla.

Tabla 18. Cortante, momento y deflexión para la carga máxima.

Probeta	Carga máxima $P(N)$	Cortante máximo $V(N)$	Momento máximo $M(N*mm)$	Deflexión $\Delta(mm)$
G1A	11519.33	5759.67	5414086.22	48.56
G1B	14482.00	7241.00	6806539.91	41.53
G2A	5067.00	2533.50	2381489.05	30.53
G2B	3985.47	1992.74	1873171.65	18.13
G3A	2353.30	1176.65	1106051.85	7.264
G3B	3530.67	1765.33	1659414.24	24.34
G4A	4861.00	2430.50	2284669.76	26.17
G4B	6367.33	3183.67	2992645.27	47.23
G5A	5560.00	2780.00	2613199.01	25.11
G5B	7966.33	3983.17	3744177.01	35.63
G6A	2850.26	1425.13	1339623.89	10.12
G6B	6259.33	3129.66	2941884.97	35.38

Fuente: Elaborado por el autor.

3.3 Esfuerzo cortante, momento flector y deflexión en el límite proporcional.

Teniendo en cuenta las curvas carga vs deformación se determina la carga máxima en la cual vigas se encuentran dentro del rango elástico, es decir, la carga máxima soportada por las vigas sin sufrir deformaciones permanentes.

El esfuerzo cortante máximo en el límite proporcional para las probetas ensayadas está determinado por la siguiente ecuación:

$$V_{lp} = P_{lp}/2 \quad (\text{Ecuación 4})$$

V_{lp} = Fuerza Cortante máxima en el límite proporcional.

P_{lp} = Carga en el límite proporcional registrada en el ensayo.

Tabla 19. Cortante en el límite proporcional.

Probeta	Carga en el límite proporcional $P_{lp}(kgf)$	Carga en el límite proporcional $P_{lp}(N)$	Cortante $V_{lp}(N)$
G1A	1100.00	10787.32	5393.66
G1B	1400.00	13729.31	6864.66
G2A	440.00	4314.93	2157.46
G2B	195.40	1916.22	958.11
G3A	239.97	2353.30	1176.65
G3B	250.68	2458.33	1229.17
G4A	495.68	4860.96	2430.48
G4B	501.46	4917.64	2458.82
G5A	448.77	4400.93	2200.47
G5B	317.74	3115.96	1557.98
G6A	290.65	2850.26	1425.13
G6B	320.58	3143.82	1571.91

Fuente: Elaborado por el autor.

El momento flector máximo en el límite proporcional, ubicado en el tercio central de la distancia entre los apoyos de la viga, se calcula con la ecuación:

$$Mlp = \left(\frac{Plp}{2} \right) * a \quad (\text{Ecuación 5})$$

Mlp= Momento flector máximo en el límite proporcional

Plp= Carga en el límite proporcional registrada en el ensayo.

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

Tabla 20. Momento en el límite proporcional.

Probeta	Carga en el límite proporcional <i>Plp</i> (kgf)	Carga en el límite proporcional <i>Plp</i> (N)	a (mm)	Momento <i>Mlp</i> (N*mm)
G1A	1100.00	10787.32	940.00	5070038.05
G1B	1400.00	13729.31	940.00	6452775.70
G2A	440.00	4314.93	940.00	2028015.22
G2B	195.40	1916.22	940.00	900623.12
G3A	239.97	2353.30	940.00	1106051.85
G3B	250.68	2458.33	940.00	1155415.58
G4A	495.68	4860.96	940.00	2284651.33
G4B	501.46	4917.64	940.00	2311292.07
G5A	448.77	4400.93	940.00	2068437.25
G5B	317.74	3115.96	940.00	1464503.54
G6A	290.65	2850.26	940.00	1339623.89
G6B	320.58	3143.82	940.00	1477593.45

Fuente: Elaborado por el autor.

Para cada probeta se registra la deflexión en el límite proporcional y se relaciona con el valor de carga, cortante y momento flector en el límite proporcional en la siguiente tabla.

Tabla 21. Cortante, momento y deflexión en el límite proporcional.

Probeta	Carga en el límite proporcional <i>Plp</i> (N)	Cortante <i>Vlp</i> (N)	Momento <i>Mlp</i> (N*mm)	Deflexión Δ (mm)
G1A	10787.32	5393.66	5070038.05	37.72
G1B	13729.31	6864.66	6452775.70	39.19
G2A	4314.93	2157.46	2028015.22	14.70
G2B	1916.22	958.11	900623.12	6.74
G3A	2353.30	1176.65	1106051.85	7.26
G3B	2458.33	1229.17	1155415.58	15.02
G4A	4860.96	2430.48	2284651.33	26.24
G4B	4917.64	2458.82	2311292.07	25.00
G5A	4400.93	2200.47	2068437.25	17.42
G5B	3115.96	1557.98	1464503.54	10.30
G6A	2850.26	1425.13	1339623.89	10.12
G6B	3143.82	1571.91	1477593.45	10.48

Fuente: Elaborado por el autor.

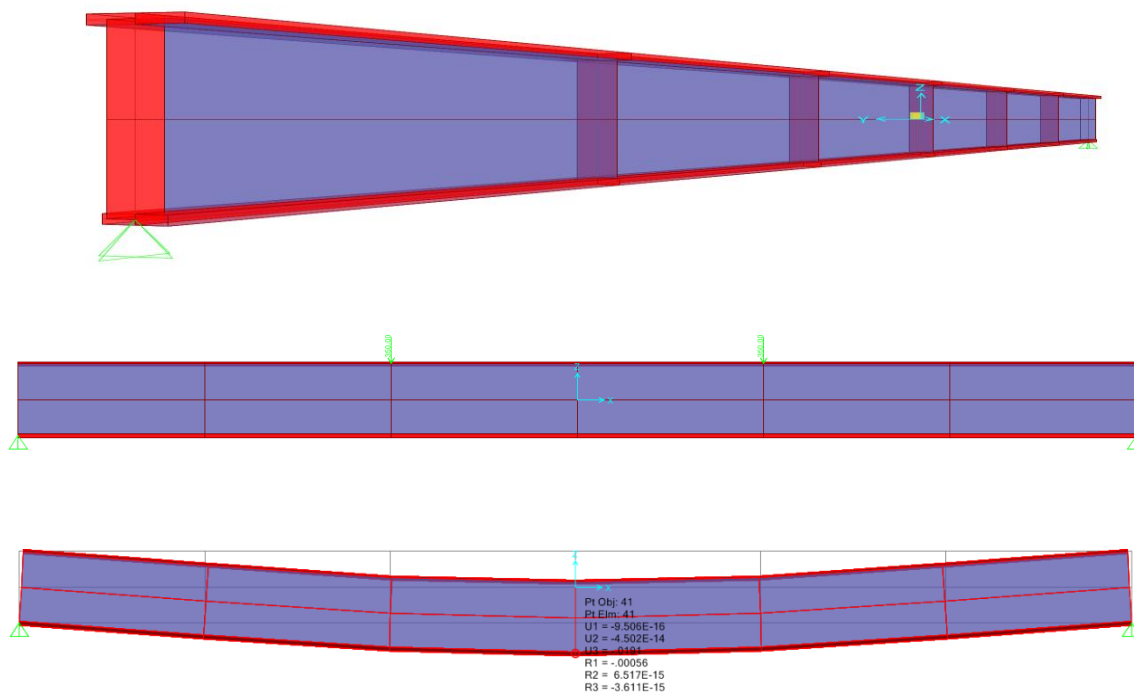
3.4 Modelación de vigas con el método de los elementos finitos para el cálculo de la constante de elasticidad en el alma CE.

A partir de los valores de fuerza y desplazamiento obtenidos en el ensayo de flexión dentro del rango elástico de la viga, se busca determinar la constante de elasticidad en el alma compuesta por distintas especies de madera reutilizada con diferentes dimensiones, propiedades mecánicas y contenidos de humedad, cabe resaltar que estos elementos no están unidos con adhesivo entre si provocando desplazamientos relativos perpendiculares al eje neutro de la sección al vencerse la fuerza de fricción entre ellos y al deformarse la esterilla de guadua que compone los patines de la viga.

En este orden de ideas, es necesario conocer la tasa de deformación que determina el comportamiento del alma dentro del rango elástico, para calcular el factor n que relaciona el módulo de elasticidad de la guadua y la tasa de deformación en el alma permitiendo calcular la ubicación del eje neutro y el momento de inercia de cada sección.

Para conocer la constante de elasticidad del alma se realiza un modelo de cada viga en las condiciones del ensayo de flexión para la carga registrada en los 8 mm de deformación, asumiendo un módulo de elasticidad para el alma calculando la deflexión por medio del método de los elementos finitos, el módulo de elasticidad del alma será ajustado mediante iteraciones hasta alcanzar la deformación de los 8 mm.

Figura 87. Modelación de las vigas para análisis por el método de los elementos finitos.



Fuente: Elaborado por el autor.

El módulo de elasticidad para el material con el que se realizó la modelación y produjo la deflexión de 8mm para la carga registrada en el ensayo, será tomado como la constante de elasticidad del alma.

A continuación se relaciona la constante de elasticidad para el alma en cada tipo de viga:

Tabla 22. Constante de elasticidad del alma de las vigas.

PROBETA	Carga (kgf)	Carga por bloque de carga (kgf)	Deflexión Δ (mm)	Constante de elasticidad del alma CE (kgf/m ²)	Constante de elasticidad del alma CE (MPa)
G1A	386.4	193.2	8	125000000.00	1225.83
G1B	382.9	191.45	8	125000000.00	1225.83
G2A	272.8	136.4	8	33000000.00	323.62
G2B	197.8	98.9	7	16000000.00	156.91
G3A	234.37	117.185	7.5	23000000.00	225.55
G3B	177.93	88.965	8	8300000.00	81.39
G4A	279.2	139.6	8	35000000.00	343.23
G4B	273.6	136.8	8	32000000.00	313.81
G5A	287.53	143.765	8	41000000.00	402.07
G5B	271.87	135.935	8	32000000.00	313.81
G6A	240.13	120.065	8	20000000.00	196.13
G6B	280.08	140.04	8	36000000.00	353.04

Fuente: Elaborado por el autor.

3.5 Cálculo de la ubicación del eje neutro y momento de inercia I de la sección.

Para calcular la ubicación del eje neutro y el momento de inercia de cada elemento es necesario analizar cada tipo de viga como un material heterogéneo de sección compuesta. Por lo tanto es necesario realizar cálculos sobre una sección transformada asumiendo que toda la viga tiene el MOE de la *Guadua angustifolia kunth*.

La transformación de la sección del alma se realiza aumentando o disminuyendo su dimensión en dirección paralela al eje neutro para no alterar su distancia con las fibras superiores e inferiores, el ensanchamiento o estrechamiento está determinado por un factor n que establece la relación entre el MOE de la *Guadua angustifolia kunth* y la constante de elasticidad en el alma.

$$n = \frac{CE}{MOE \text{ Guadua}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

n = Factor de relación de módulos de elasticidad.

CE = Constante de elasticidad del alma de la viga.

$MOE \text{ Guadua}$ = Modulo de elasticidad de la guadua.

El espesor del alma que reemplaza la madera reutilizada del alma por Guadua en términos del módulo de elasticidad se obtiene de la siguiente manera para la sección transformada:

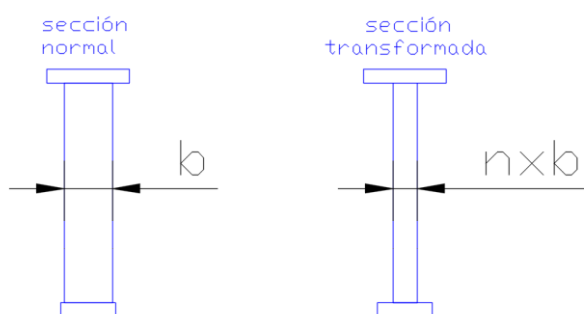
$$bt = n * b \quad (\text{Ecuación 7})$$

bt = Espesor del alma de la viga en la sección transformada.

n = Factor de relación de módulos de elasticidad.

b = Espesor del alma de la viga.

Figura 88. Sección transformada.



Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 23. Valores del espesor del alma para la sección transformada.

PROBETA	CE (Mpa)	MOE Guadua (Mpa)	n	b (mm)	bt (mm)
G1A	1225.825	9500	0.129	35.00	4.52
G1B	1225.825	9500	0.129	35.00	4.52
G2A	323.6178	9500	0.034	35.00	1.19
G2B	156.9056	9500	0.017	35.00	0.58
G3A	225.5518	9500	0.024	35.00	0.83
G3B	81.39478	9500	0.009	35.00	0.30
G4A	343.231	9500	0.036	35.00	1.26
G4B	313.8112	9500	0.033	35.00	1.16
G5A	402.0706	9500	0.042	35.00	1.48
G5B	313.8112	9500	0.033	35.00	1.16
G6A	196.132	9500	0.021	35.00	0.72
G6B	353.0376	9500	0.037	35.00	1.30

Fuente: Elaborado por el autor.

Como se muestra en el grafico anterior, para calcular la ubicación del eje neutro respecto a la base de la viga en la sección transformada, se divide la sección en tres rectángulos a

los cuales se les calcula el área y la distancia de su centro de gravedad a la base de la viga para aplicar la siguiente ecuación.

$$Y_e = \frac{\sum(A_i * Y_i)}{\sum A} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Y_e = Distancia de la base de la viga al eje neutro.

A_i = Área de cada rectángulo.

Y_i = Distancia de la base de la viga al centro de gravedad de cada rectángulo.

Tabla 24. Ubicación del eje neutro de las vigas.

PROBETA	PATIN SUPERIOR				ALMA SECCIÓN TRANSFORMADA				PATIN INFERIOR				Y_e (mm)
	b (mm)	h (mm)	A (mm ²)	Y (mm)	bt (mm)	h (mm)	A (mm ²)	Y (mm)	b (mm)	h (mm)	A (mm ²)	Y (mm)	
G1A	60	10	600	175	4.52	160	722.59	90	40	10	400	5	99.87
G1B	60	10	600	175	4.52	160	722.59	90	40	10	400	5	99.87
G2A	60	10	600	175	1.19	160	190.76	90	40	10	400	5	104.28
G2B	60	10	600	175	0.58	160	92.49	90	40	10	400	5	105.56
G3A	60	10	600	175	0.83	160	132.96	90	40	10	400	5	105.00
G3B	60	10	600	175	0.30	160	47.98	90	40	10	400	5	106.22
G4A	60	10	600	175	1.26	160	202.33	90	40	10	400	5	104.14
G4B	60	10	600	175	1.16	160	184.98	90	40	10	400	5	104.35
G5A	60	10	600	175	1.48	160	237.01	90	40	10	400	5	103.74
G5B	60	10	600	175	1.16	160	184.98	90	40	10	400	5	104.35
G6A	60	10	600	175	0.72	160	115.61	90	40	10	400	5	105.24
G6B	60	10	600	175	1.30	160	208.11	90	40	10	400	5	104.07

Fuente: Elaborado por el autor.

Para realizar el cálculo del momento de inercia de la sección transformada se utilizara el teorema de los ejes paralelos o de Steiner teniendo en cuenta que el momento de inercia en este caso no pasa a través del centro de gravedad.

$$I_{sti} = I_i + (A_i * Y_d^2) \quad (\text{Ecuación 9})$$

I_{sti} = Momento de inercia según el eje que no pasa por el centro de masa.

I_i = Momento de inercia según un eje que pasa a través de su centro de masa.

A_i = Área de la figura.

Y_d = Distancia perpendicular entre los dos ejes.

El momento de inercia de la sección de cada viga será entonces la sumatoria de los momentos de inercia de cada rectángulo.

$$I_v = \sum I_{sti} \quad (\text{Ecuación 10})$$

I_v = Momento de inercia de la viga

I_{sti} = Momento de inercia según el eje que no pasa por el centro de masa.

Tabla 25. Momento de inercia de las vigas.

	Ye (mm)	PATIN SUPERIOR					ALMA SECCIÓN TRANSFORMADA					PATIN SUPERIOR					Iv (mm ⁴)
		b (mm)	h (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	Y (mm)	bt (mm)	h (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	Y (mm)	b (mm)	h (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	Y (mm)	
G1A	99.87	60	10	600	5000	175	4.52	160	722.59	2E+06	90	40	10	400	3333.3	5	8607091.56
G1B	99.87	60	10	600	5000	175	4.52	160	722.59	2E+06	90	40	10	400	3333.3	5	8607091.56
G2A	104.28	60	10	600	5000	175	1.19	160	190.76	406964	90	40	10	400	3333.3	5	7397595.62
G2B	105.56	60	10	600	5000	175	0.58	160	92.49	197316	90	40	10	400	3333.3	5	7166116.11
G3A	105.00	60	10	600	5000	175	0.83	160	132.96	283641	90	40	10	400	3333.3	5	7261889.88
G3B	106.22	60	10	600	5000	175	0.30	160	47.98	102358	90	40	10	400	3333.3	5	7059922.24
G4A	104.14	60	10	600	5000	175	1.26	160	202.33	431628	90	40	10	400	3333.3	5	7424593.88
G4B	104.35	60	10	600	5000	175	1.16	160	184.98	394631	90	40	10	400	3333.3	5	7384079.42
G5A	103.74	60	10	600	5000	175	1.48	160	237.01	505621	90	40	10	400	3333.3	5	7505326.89
G5B	104.35	60	10	600	5000	175	1.16	160	184.98	394631	90	40	10	400	3333.3	5	7384079.42
G6A	105.24	60	10	600	5000	175	0.72	160	115.61	246645	90	40	10	400	3333.3	5	7220927.90
G6B	104.07	60	10	600	5000	175	1.30	160	208.11	443960	90	40	10	400	3333.3	5	7438076.25

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6 Cálculo del esfuerzo máximo en la fibra en el límite proporcional S_f .

Es necesario calcular el esfuerzo máximo que tienen las fibras de guadua en el límite proporcional, teniendo en cuenta que valores de esfuerzo por debajo del límite proporcional garantizan que la viga se comporte dentro del rango elástico, en este orden de ideas, al variar la carga dentro de este intervalo de esfuerzos la deflexión estará determinada por el módulo de elasticidad de la viga calculado en la sección anterior. Por esta razón la viga no presentará deformaciones permanentes que pueden afectar su desempeño dentro de un sistema estructural.

El esfuerzo máximo de tensión de las fibras en el límite proporcional se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$S_{ft} = \frac{M_{lp} \cdot C_t}{I_v} \text{ (Ecuación 11)}$$

S_{ft} = Esfuerzo de tensión de la fibra en el límite proporcional.

M_{lp} = Momento para la carga registrada en el límite proporcional.

C_t = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada sometida a tensión.

I_v = Momento de inercia de la viga.

Tabla 26. Esfuerzo máximo a tensión en la fibra en el límite proporcional.

Probeta	Momento $M_{lp} (N*mm)$	C_t (mm)	I_v (mm ⁴)	S_{ft} (MPa)
G1A	5070038.05	99.87	8607091.56	58.83
G1B	6452775.70	99.87	8607091.56	74.87
G2A	2028015.22	104.28	7397595.62	28.59
G2B	900623.12	105.56	7166116.11	13.27
G3A	1106051.85	105.00	7261889.88	15.99
G3B	1155415.58	106.22	7059922.24	17.38
G4A	2284651.33	104.14	7424593.88	32.05
G4B	2311292.07	104.35	7384079.42	32.66
G5A	2068437.25	103.74	7505326.89	28.59
G5B	1464503.54	104.35	7384079.42	20.70
G6A	1339623.89	105.24	7220927.90	19.52
G6B	1477593.45	104.07	7438076.25	20.67

Fuente: Elaborado por el autor.

Por otro lado el esfuerzo máximo de compresión de las fibras en el límite proporcional se calcula así:

$$S_{fc} = \frac{M_{lp} * C_c}{I_v} \quad (\text{Ecuación 12})$$

S_{fc} = Esfuerzo de compresión de la fibra en el límite proporcional.

M_{lp} = Momento para la carga registrada en el límite proporcional.

C_c = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada sometida a compresión.

I_v = Momento de inercia de la viga.

Tabla 27. Esfuerzo máximo a compresión en la fibra en el límite proporcional.

Probeta	Momento $M_{lp} (N*mm)$	C_c (mm)	I_v (mm ⁴)	S_{fc} (MPa)
G1A	5070038.05	80.13	8607091.56	47.20
G1B	6452775.70	80.13	8607091.56	60.07
G2A	2028015.22	75.72	7397595.62	20.76
G2B	900623.12	74.44	7166116.11	9.36
G3A	1106051.85	75.00	7261889.88	11.42
G3B	1155415.58	73.78	7059922.24	12.07
G4A	2284651.33	75.86	7424593.88	23.34
G4B	2311292.07	75.65	7384079.42	23.68
G5A	2068437.25	76.26	7505326.89	21.02
G5B	1464503.54	75.65	7384079.42	15.00
G6A	1339623.89	74.76	7220927.90	13.87
G6B	1477593.45	75.93	7438076.25	15.08

Fuente: Elaborado por el autor.

3.7 Cálculo del módulo de ruptura S_R .

El módulo de ruptura es el esfuerzo de las fibras más alejadas del eje neutro, sometidas a esfuerzos de compresión y de tensión, para la carga máxima registrada en el ensayo de flexión.

El módulo de ruptura para las fibras en tensión se calcula con la siguiente ecuación:

$$S_{Rt} = \frac{M_{max} * C_t}{I_v} \quad (\text{Ecuación 13})$$

S_{Rt} = Esfuerzo de tensión de la fibra en el límite proporcional.

M_{max} = Momento para la carga máxima.

C_t = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada sometida a tensión.

I_v = Momento de inercia de la viga.

Tabla 28. Módulo de ruptura para esfuerzos de tensión.

Probeta	Momento $M(N*mm)$	C_t (mm)	I_v (mm ⁴)	S_{Rt} (MPa)
G1A	5414086.22	99.87	8607091.56	62.82
G1B	6806539.91	99.87	8607091.56	78.98
G2A	2381489.05	104.28	7397595.62	33.57
G2B	1873171.65	105.56	7166116.11	27.59
G3A	1106051.85	105.00	7261889.88	15.99
G3B	1659414.24	106.22	7059922.24	24.97
G4A	2284669.76	104.14	7424593.88	32.05
G4B	2992645.27	104.35	7384079.42	42.29
G5A	2613199.01	103.74	7505326.89	36.12
G5B	3744177.01	104.35	7384079.42	52.91
G6A	1339623.89	105.24	7220927.90	19.52
G6B	2941884.97	104.07	7438076.25	41.16

Fuente: Elaborado por el autor.

Por otro lado el módulo de ruptura para las fibras en compresión calcula así:

$$S_{Rc} = \frac{M_{max} * C_c}{I_v} \quad (\text{Ecuación 14})$$

S_{Rc} = Esfuerzo de compresión de la fibra en el límite proporcional.

M_{max} = Momento para la carga registrada en el límite proporcional.

C_c = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada sometida a compresión.

I_v = Momento de inercia de la viga.

Tabla 29. Módulo de ruptura para esfuerzos de compresión.

Probeta	Momento $M (N*mm)$	C_c (mm)	I_v (mm ⁴)	S_{Rc} (MPa)
G1A	5414086.22	80.13	8607091.56	50.40
G1B	6806539.91	80.13	8607091.56	63.37
G2A	2381489.05	75.72	7397595.62	24.38
G2B	1873171.65	74.44	7166116.11	19.46
G3A	1106051.85	75.00	7261889.88	11.42
G3B	1659414.24	73.78	7059922.24	17.34
G4A	2284669.76	75.86	7424593.88	23.34
G4B	2992645.27	75.65	7384079.42	30.66
G5A	2613199.01	76.26	7505326.89	26.55
G5B	3744177.01	75.65	7384079.42	38.36
G6A	1339623.89	74.76	7220927.90	13.87
G6B	2941884.97	75.93	7438076.25	30.03

Fuente: Elaborado por el autor.

3.8 Cálculo de módulo de elasticidad aparente E .

El módulo de elasticidad o módulo de Young E , es un coeficiente que determina el comportamiento de un material en el rango elástico, El módulo de elasticidad es una constante que relaciona el esfuerzo y la deformación de un material según la ley de Hooke.

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (\text{Ecuación 15})$$

σ = Esfuerzo

E = Modulo de elasticidad

ε = Deformación

3.8.1.1 Método gráfico para calcular E

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.

$$\Delta = \frac{P*a}{24 E I} * (3L^2 - 4a^2) \quad (\text{Ecuación 16})$$

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:

$$\frac{P \cdot a}{24I} * (3L^2 - 4a^2) = E * \Delta \quad (\text{Ecuación 17})$$

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.

$$\sigma = \frac{P \cdot a}{24I} * (3L^2 - 4a^2) \quad (\text{Ecuación 18})$$

P = Fuerza.

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

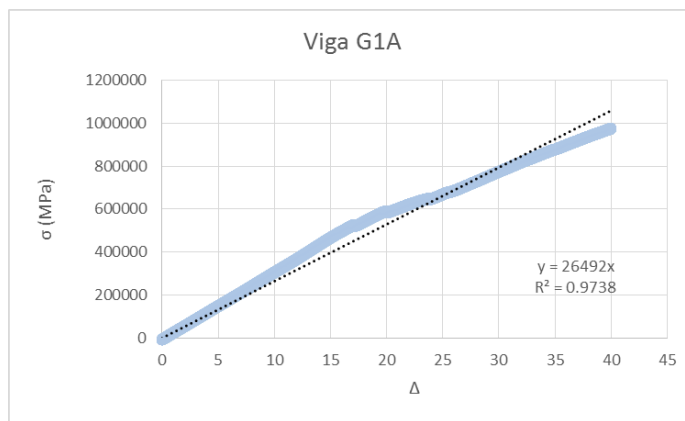
I = Momento de inercia de la viga.

L = Luz, distancia entre las reacciones.

- Gráfico Esfuerzo vs. Deformación viga G1A

$E = 26492.00 \text{ MPa}$

Figura 89. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G1A.

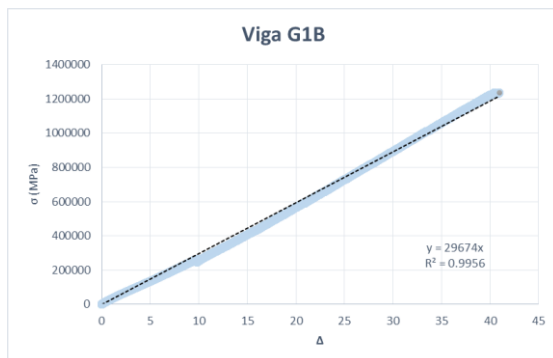


Fuente: Elaborado por el autor.

- Gráfico Esfuerzo vs. Deformación viga G1B

$E = 29674.00 \text{ MPa}$

Figura 90. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G1B.

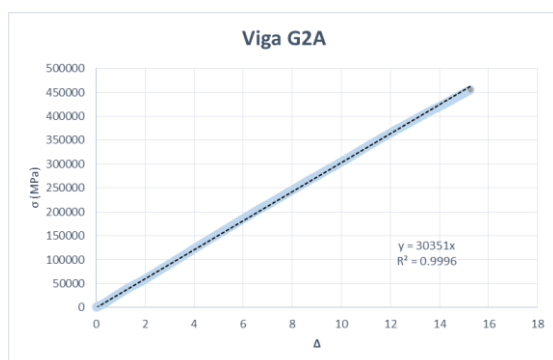


Fuente: Elaborado por el autor.

- Gráfico Esfuerzo vs. Deformación viga G2A

$E = 30351.00 \text{ MPa}$

Figura 91. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G2A.

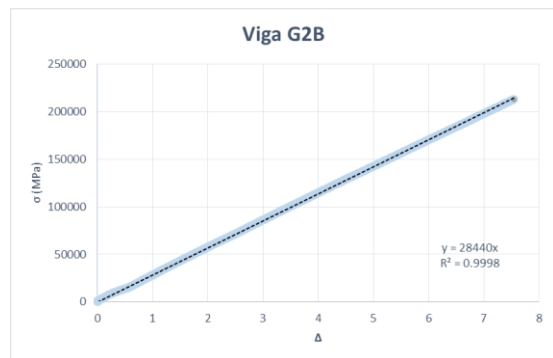


Fuente: Elaborado por el autor.

- Gráfico Esfuerzo vs. Deformación viga G2B

$E = 28440.00 \text{ MPa}$

Figura 92. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G2B.

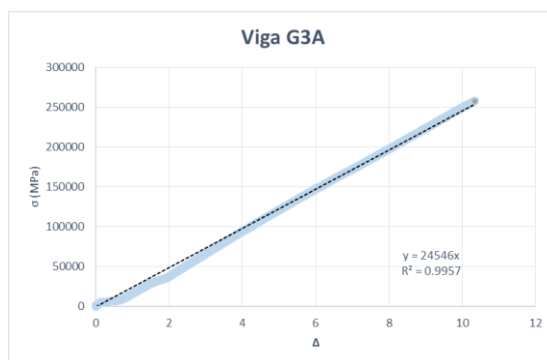


Fuente: Elaborado por el autor.

- Gráfico Esfuerzo vs. Deformación viga G3A

$E = 24546.00 \text{ MPa}$

Figura 93. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G3A.

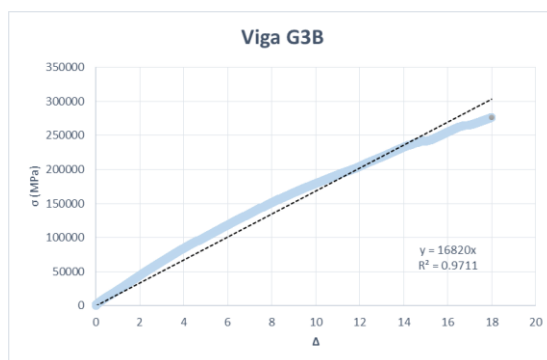


Fuente: Elaborado por el autor.

- Gráfico Esfuerzo vs. Deformación viga G3B

$E = 16820.00 \text{ MPa}$

Figura 94. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G3B.

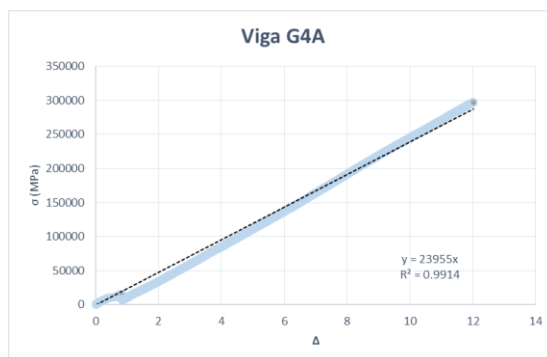


Fuente: Elaborado por el autor.

- Gráfico Esfuerzo vs. Deformación viga G4A

$E = 23955.00 \text{ MPa}$

Figura 95. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G4A.

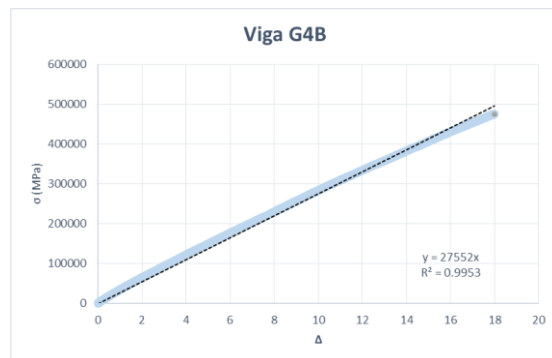


Fuente: Elaborado por el autor.

- Gráfico Esfuerzo vs. Deformación viga G4B

$E = 27552.00 \text{ MPa}$

Figura 96. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G4B.

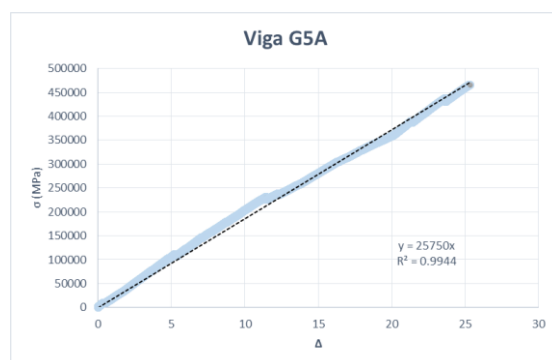


Fuente: Elaborado por el autor.

- Gráfico Esfuerzo vs. Deformación viga G5A

$E = 27570.00 \text{ MPa}$

Figura 97. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G5A.

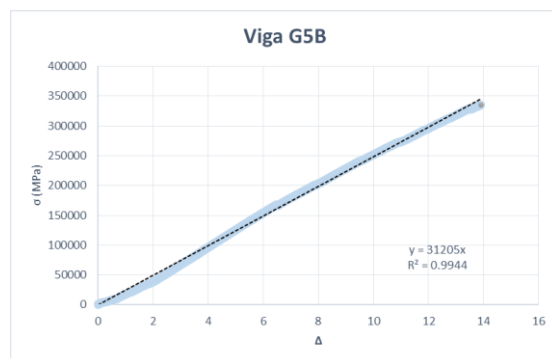


Fuente: Elaborado por el autor.

- Gráfico Esfuerzo vs. Deformación viga G5B

$E = 31205.00 \text{ MPa}$

Figura 98. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G5B.

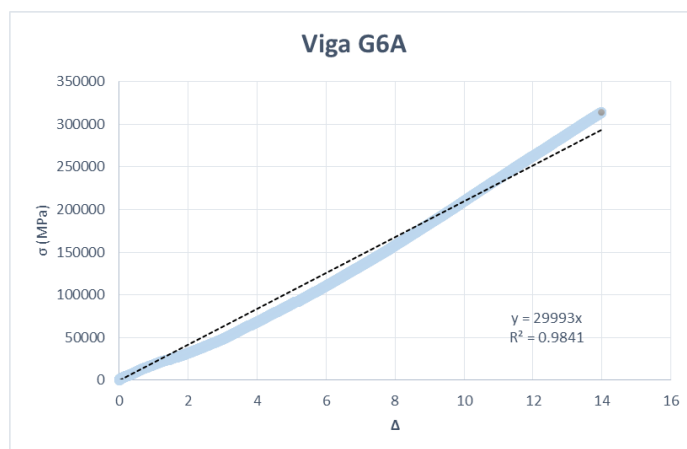


Fuente: Elaborado por el autor.

- Gráfico Esfuerzo vs. Deformación viga G6A

$E = 29993.00 \text{ MPa}$

Figura 99. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G6A.

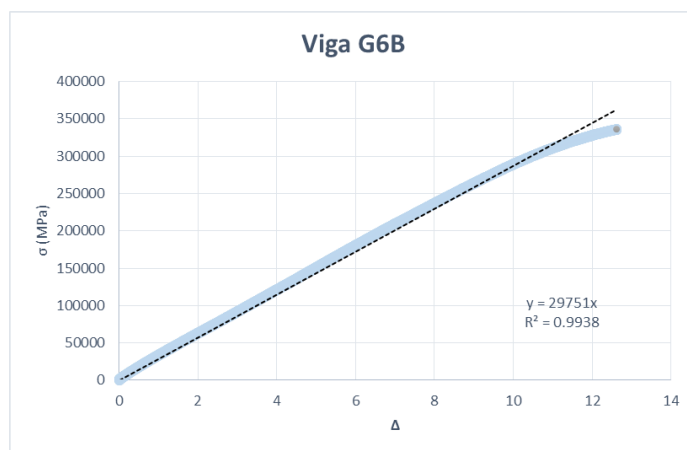


Fuente: Elaborado por el autor.

- Gráfico Esfuerzo vs. Deformación viga G6B

$E = 29751.00 \text{ MPa}$

Figura 100. Gráfico esfuerzo vs deformación viga G6B.



Fuente: Elaborado por el autor.

3.8.1.1 Método analítico para calcular E

Para hallar el Modulo de elasticidad de cada viga se despeja E , de la ecuación de deflexión que para una viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales ubicadas simétricamente la deflexión en el centro de la luz.

$$E = \frac{P \cdot a}{24 \Delta I} * (3L^2 - 4a^2) \quad (\text{Ecuación 19})$$

E= Modulo de elasticidad MOE.

Δ = Deflexión.

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.

Para determinar el módulo de elasticidad se utilizan los valores de fuerza y deformación en el límite proporcional.

Tabla 30. Módulo de elasticidad de las vigas E (MPa).

Probeta	Carga limite proporcional (N)	Δ limite proporcional (mm)	a(mm)	L(mm)	I_v (mm ⁴)	E (Mpa)
G1A	10787.32	37.72	940.00	2820.00	8607091.56	26447.55
G1B	13729.31	39.19	940.00	2820.00	8607091.56	32397.92
G2A	4314.93	14.70	940.00	2820.00	7397595.62	31583.89
G2B	1916.22	6.74	940.00	2820.00	7166116.11	31579.24
G3A	2353.30	7.26	940.00	2820.00	7261889.88	35510.13
G3B	2458.33	15.02	940.00	2820.00	7059922.24	18453.16
G4A	4860.96	26.24	940.00	2820.00	7424593.88	19862.04
G4B	4917.64	25.00	940.00	2820.00	7384079.42	21204.14
G5A	4400.93	17.42	940.00	2820.00	7505326.89	26793.34
G5B	3115.96	10.30	940.00	2820.00	7384079.42	32610.63
G6A	2850.26	10.12	940.00	2820.00	7220927.9	31046.43
G6B	3143.82	10.48	940.00	2820.00	7438076.25	32102.24

Fuente: Elaborado por el autor.

3.9 Cálculo de la ductilidad al desplazamiento $\mu\Delta$.

Este parámetro mide la relación entre el desplazamiento máximo y el desplazamiento en el límite proporcional a partir del cual se genera el punto de primera cadencia del material y cambia la pendiente de la recta tangente de la gráfica Esfuerzo vs. Deformación dando inicio al rango plástico del material en el cual ya existen deformaciones permanentes.

La ductilidad es un parámetro importante en el diseño ya que, a diferencia de los materiales frágiles, se producen grandes deformaciones antes de producirse la ruptura y se sigue soportando carga, este comportamiento mejora las condiciones de seguridad de los ocupantes de una edificación ya que al no fallar súbitamente permite la evacuación.

El cálculo de la ductilidad al desplazamiento se realiza con la siguiente ecuación.

$$\mu\Delta = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (\text{Ecuación 20})$$

$\mu\Delta$ = Ductilidad al desplazamiento.

Δu = Desplazamiento máximo.

Δy = Desplazamiento máximo en el límite proporcional.

Nótese que en un comportamiento frágil el valor de ductilidad al desplazamiento tiende a 1.

Tabla 31. Ductilidad al desplazamiento de las vigas.

Probeta	Δ maximo (mm)	Δ limite proporcional (mm)	$\mu\Delta$
G1A	100	37.72	2.65
G1B	46.84	39.19	1.20
G2A	33.28	14.70	2.26
G2B	19.49	6.74	2.89
G3A	47.64	7.26	6.56
G3B	31.69	15.02	2.11
G4A	67.69	26.24	2.58
G4B	50.35	25.00	2.01
G5A	36.66	17.42	2.10
G5B	51.34	10.30	4.98
G6A	13.99	10.12	1.38
G6B	40.304	10.48	3.85

Fuente: Elaborado por el autor.

4. Análisis de resultados

4.1 Análisis estadístico de resultados.

A los datos obtenidos experimentalmente se les aplica el criterio de Chauvenet para revisar si en la muestra se encuentra valores atípicos. Estos valores se reportan, sin embargo no son retirados del listado, teniendo en cuenta que son valores que determinan el comportamiento del sistema estudiado.

El valor mínimo aceptable será calculado con la siguiente ecuación:

$$S_{\min} = \bar{x} - (K * \sigma) \quad (\text{Ecuación 21})$$

$S_{\min}$ = Valor mínimo aceptable.

$\bar{x}$ = Media.

K = Razón de desviación estándar aceptable, para 12 datos = 2.03

σ = Desviación estándar

El valor mínimo aceptable será calculado de la siguiente manera:

$$S_{\max} = \bar{x} + (K * \sigma) \quad (\text{Ecuación 22})$$

$S_{\max}$ = Valor máximo aceptable.

$\bar{x}$ = Media.

K = Razón de desviación estándar aceptable, para 12 datos K tiene un valor de 2.03.

σ = Desviación estándar.

El coeficiente de variación se calcula como la relación entre la desviación estándar y la media, este valor se expresa como porcentaje.

$$Cv = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100 \quad (\text{Ecuación 23})$$

Cv = Coeficiente de variación.

σ = Desviación estándar.

$\bar{x}$ = Media.

Los esfuerzos admisibles se determinan a partir del valor característico.

$$Vc = f_{0.05} * \left(1 - \frac{2.7\sigma}{\sqrt{n}\bar{x}}\right) \quad (\text{Ecuación 24})$$

Vc = Valor característico.

$f_{0.05}$ = Valor correspondiente a quinto percentil.

σ = Desviación estándar

$\bar{x}$ = Media.

n = Número de datos.

4.1.1.1 Valores máximos de Carga, cortante y momento flector.

Tabla 32. Valores máximos de Carga, cortante y momento flector.

Probeta	Carga máxima P(N)	Cortante máximo V(N)	Momento máximo M(N*mm)	Deflexión Δ(mm)
G1A	11519.33	5759.67	5414086.22	48.56
G1B	14482.00	7241.00	6806539.91	41.53
G2A	5067.00	2533.50	2381489.05	30.53
G2B	3985.47	1992.74	1873171.65	18.13
G3A	2353.30	1176.65	1106051.85	7.264
G3B	3530.67	1765.33	1659414.24	24.34
G4A	4861.00	2430.50	2284669.76	26.17
G4B	6367.33	3183.67	2992645.27	47.23
G5A	5560.00	2780.00	2613199.01	25.11
G5B	7966.33	3983.17	3744177.01	35.63
G6A	2850.26	1425.13	1339623.89	10.12
G6B	6259.33	3129.66	2941884.97	35.38
$\bar{x}$ media	6233.50	3116.75	2929746.07	29.17
σ Desv. Est.	3587.33	1793.67	1686045.15	13.32
CV	57.55%	57.55%	57.55%	45.66%

Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.1.2 Carga, cortante y momento flector en el límite proporcional.

Tabla 33. Carga, cortante y momento flector en el límite proporcional

Probeta	Carga en el límite proporcional P _{lp} (N)	Cortante V _{lp} (N)	Momento M _{lp} (N*mm)	Deflexión Δ(mm)
G1A	10787.32	5393.66	5070038.05	37.72
G1B	13729.31	6864.66	6452775.70	39.19
G2A	4314.93	2157.46	2028015.22	14.70
G2B	1916.22	958.11	900623.12	6.74
G3A	2353.30	1176.65	1106051.85	7.26
G3B	2458.33	1229.17	1155415.58	15.02
G4A	4860.96	2430.48	2284651.33	26.24
G4B	4917.64	2458.82	2311292.07	25.00
G5A	4400.93	2200.47	2068437.25	17.42
G5B	3115.96	1557.98	1464503.54	10.30
G6A	2850.26	1425.13	1339623.89	10.12
G6B	3143.82	1571.91	1477593.45	10.48
$\bar{x}$ media	4904.08	2452.04	2304918.42	18.35
σ Desv. Est.	3631.04	1815.52	1706588.76	11.25
CV	74.04%	74.04%	74.04%	61.34%

Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.1.3 Esfuerzo máximo de la fibra en el límite proporcional S_f .**Tabla 34.** Análisis estadístico de S_f .

Esfuerzo máximo de la fibra en el límite proporcional S_{ft} tensión			Esfuerzo máximo de la fibra en el límite proporcional S_{fc} Compresión		
PROBETA	S_{ft} (Mpa)	Rev. Atípicos	PROBETA	S_{fc} (Mpa)	Rev. Atípicos
G1A	58.83	Ok	G1A	47.20	Ok
G1B	74.87	Atípico	G1B	60.07	Atípico
G2A	28.59	Ok	G2A	20.76	Ok
G2B	13.27	Ok	G2B	9.36	Ok
G3A	15.99	Ok	G3A	11.42	Ok
G3B	17.38	Ok	G3B	12.07	Ok
G4A	32.05	Ok	G4A	23.34	Ok
G4B	32.66	Ok	G4B	23.68	Ok
G5A	28.59	Ok	G5A	21.02	Ok
G5B	20.70	Ok	G5B	15.00	Ok
G6A	19.52	Ok	G6A	13.87	Ok
G6B	20.67	Ok	G6B	15.08	Ok

Promedio (MPa)=	30.26
Desviación estándar S (MPa)=	18.53
Datos atípicos - criterio de Chauvenet	
K (para n=12 datos) =	2.03
Minimo aceptable=	-7.36
Maximo aceptable=	67.88
Coefficiente de variación (%) =	61.24%
Percentil 5% =	14.77
Valor característico - S_{ft} (MPa)=	7.72

Promedio (MPa)=	22.74
Desviación estándar S (MPa)=	15.42878122
Datos atípicos - criterio de Chauvenet	
K (para n=12 datos) =	2.03
Minimo aceptable=	-8.58
Maximo aceptable=	54.06
Coefficiente de variación (%) =	67.85%
Percentil 5% =	10.49
Valor característico - S_{fc} (MPa)=	4.94

Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.1.4 Módulo de ruptura S_R .**Tabla 35.** Análisis estadístico de S_R

Modulo de Rotura S_{Rt} tensión			Modulo de Rotura S_{Rc} Compresión		
PROBETA	S_{Rt} (Mpa)	Rev. Atípicos	PROBETA	S_{Rt} (Mpa)	Rev. Atípicos
G1A	62.82	Ok	G1A	50.40	Ok
G1B	78.98	Atípico	G1B	63.37	Atípico
G2A	33.57	Ok	G2A	24.38	Ok
G2B	27.59	Ok	G2B	19.46	Ok
G3A	15.99	Ok	G3A	11.42	Ok
G3B	24.97	Ok	G3B	17.34	Ok
G4A	32.05	Ok	G4A	23.34	Ok
G4B	42.29	Ok	G4B	30.66	Ok
G5A	36.12	Ok	G5A	26.55	Ok
G5B	52.91	Ok	G5B	38.36	Ok
G6A	19.52	Ok	G6A	13.87	Ok
G6B	41.16	Ok	G6B	30.03	Ok

Promedio (MPa)=	39.00
Desviación estándar S (MPa)=	18.33
Datos atípicos - criterio de Chauvenet	
K (para n=12 datos) =	2.03
Minimo aceptable=	1.79
Maximo aceptable=	76.21
Coefficiente de variación (%) =	47.01%
Percentil 5% =	17.94
Valor característico - S_{Rt} (MPa)=	11.36

Promedio (MPa)=	29.10
Desviación estándar S (MPa)=	15.24017942
Datos atípicos - criterio de Chauvenet	
K (para n=12 datos) =	2.03
Minimo aceptable=	-1.84
Maximo aceptable=	60.04
Coefficiente de variación (%) =	52.37%
Percentil 5% =	12.77
Valor característico - S_{Rc} (MPa)=	7.56

Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.1.5 Módulo de elasticidad

Tabla 36. Análisis estadístico de módulo de elasticidad de las vigas.

Modulo de elasticidad E (MPa)		
PROBETA	E (Mpa)	Rev. Atipicos
G1A	26447.55	Ok
G1B	32397.92	Ok
G2A	31583.89	Ok
G2B	31579.24	Ok
G3A	35510.13	Ok
G3B	18453.16	Ok
G4A	19862.04	Ok
G4B	21204.14	Ok
G5A	26793.34	Ok
G5B	32610.63	Ok
G6A	31046.43	Ok
G6B	32102.24	Ok

Promedio (MPa)=	28299.23
Desviación estandar S (MPa)=	5681.79
Datos atipicos - criterio de Chauvenet	
K (para n=12 datos) =	2.03
Minimo aceptable=	16765.19
Maximo aceptable=	39833.26
Coefficiente de variación (%) =	20.08%
Percentil 5% =	19228.04
Valor caracteristico - E (MPa)=	16219.06

Fuente: Elaborado por el autor.

Los valores de cortante, momento flector y deflexión para la carga en el límite proporcional y la carga máxima presentan una alta dispersión en los resultados, esto se ve reflejado en la gran reducción de la resistencia en el valor característico del Módulo de ruptura y el esfuerzo de la fibra en el límite proporcional del sistema propuesto.

Por otro lado, la dispersión en los valores de esfuerzo en la fibra en el límite proporcional fue la mayor de todos los datos recolectados, este comportamiento se debe a que es difícil garantizar la calidad en toda la línea de encolado por las irregularidades que presenta la esterilla. En el momento en que el patín superior, sometido a esfuerzos de compresión, empieza deformarse y a desprenderse de la madera termina el rango elástico del material, entonces la carga máxima al límite proporcional está directamente relacionada con la calidad del adhesivo sobretodo en el patín superior.

Los valores del módulo de elasticidad tuvieron un coeficiente de variación del 20%, teniendo la menor dispersión de todos los resultados. A continuación se presenta el resumen de los valores promedio, el valor para el quinto percentil y el valor característico.

Tabla 37. Resumen análisis estadístico de las propiedades mecánicas de las vigas.

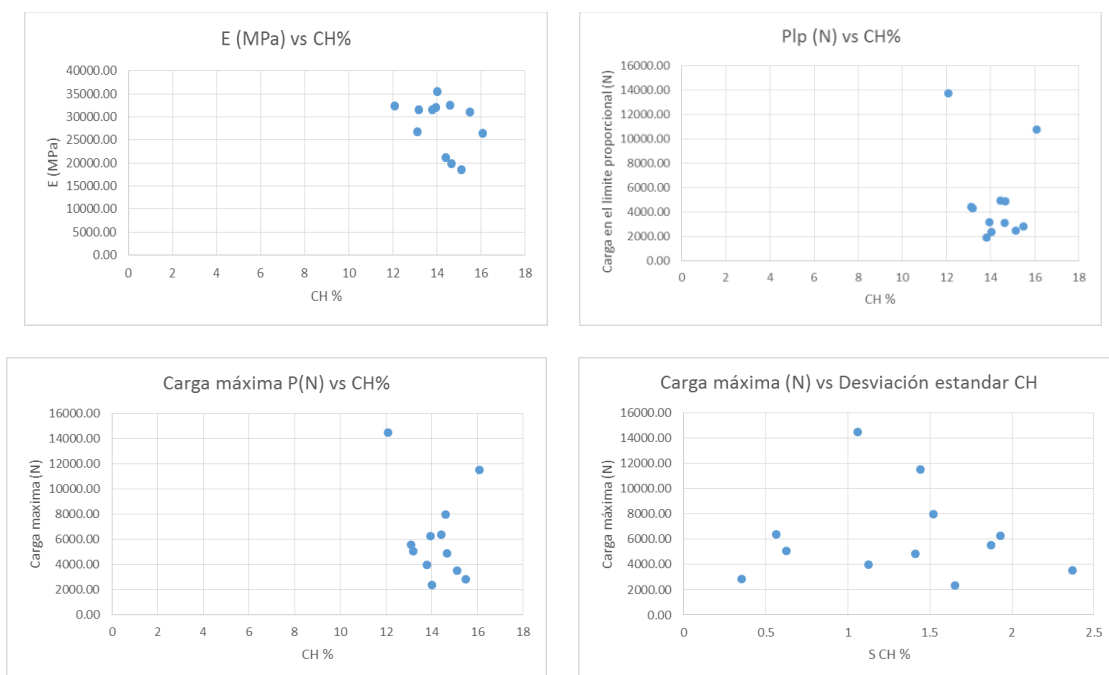
	PROMEDIO	QUINTO PERCENTIL	VALOR CARACTERISTICO
Sft (MPa)	30.26	14.77	7.72
Sfc (MPa)	22.74	10.49	4.94
SRt (MPa)	39.00	17.94	11.36
SRc (MPa)	29.1	12.77	7.56
E (MPa)	28299.23	19228.04	16219.06

Fuente: Elaborado por el autor.

4.2 Relación entre el CH de las piezas de madera reutilizada y el comportamiento mecánico de las vigas.

Para analizar la relación entre el CH de las piezas de madera reutilizada, la resistencia y el módulo de elasticidad de la viga se realizan gráficos relacionando la resistencia y el módulo de elasticidad con el contenido de humedad de la madera reutilizada en donde se presenta la falla y la desviación estándar de los contenidos de humedad de las piezas, como parámetro para determinar la influencia de la variación entre los contenidos de humedad de la madera que compone la viga.

Figura 101. Relación entre el CH y el comportamiento mecánico de las vigas.



Fuente: Elaborado por el autor.

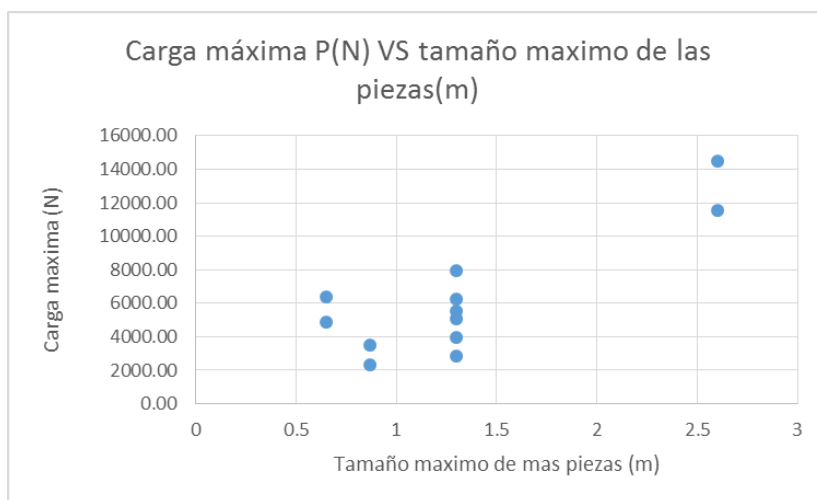
No se encuentra una tendencia clara entre el contenido de humedad de la madera reutilizada y el módulo de elasticidad de las vigas, lo mismo ocurre entre el contenido de humedad y la carga máxima registrada en el ensayo de flexión.

Al analizar la variación de los contenidos de humedad (desviación estándar del CH) de las piezas que componen las vigas con relación a la carga máxima tampoco se encuentra una tendencia definida. El comportamiento de las vigas no está determinado por el contenido de humedad de las piezas que componen el alma de las probetas ensayadas.

4.3 Relación entre el tamaño de las piezas de madera reutilizada y el comportamiento mecánico de las vigas

Se realizan graficas que relacionan el tamaño máximo de las piezas dentro de la viga y las características mecánicas, además se analiza la inferencia del número de uniones dentro de la viga en su resistencia y en el módulo de elasticidad.

Figura 102. Carga máxima vs tamaño máximo de las piezas de madera reutilizada.



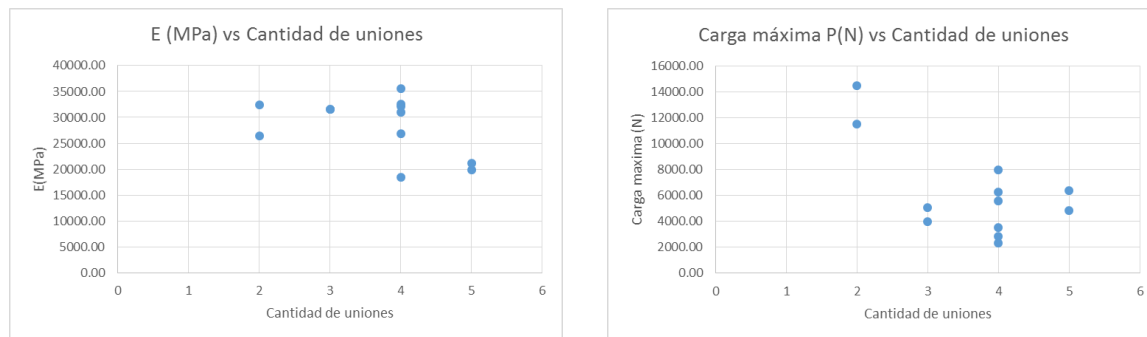
Fuente: Elaborado por el autor.

A pesar de que las vigas con piezas de 0.65 x 0.16 m. Tienen una carga máxima mayor que las de 0.87 x 0.16 cm. Se puede ver una tendencia en el aumento de la resistencia con relación al tamaño máximo de las piezas que componen la viga. Las vigas con piezas de 1.30 x 0.16 m. fueron las que soportaron la mayor carga y las piezas de 0.87 x 0.16 cm la menor.

Durante los ensayos de flexión se observó que existe un desplazamiento entre las piezas de madera que componen el alma de la viga, es por esto que se analiza la relación entre

el módulo de elasticidad y la cantidad de juntas que se presentan en cada viga, así mismo se analiza la relación entre el comportamiento de la carga máxima resistida respecto al número de uniones.

Figura 103. Relación entre la cantidad de uniones, la carga máxima y el módulo de elasticidad de las vigas.



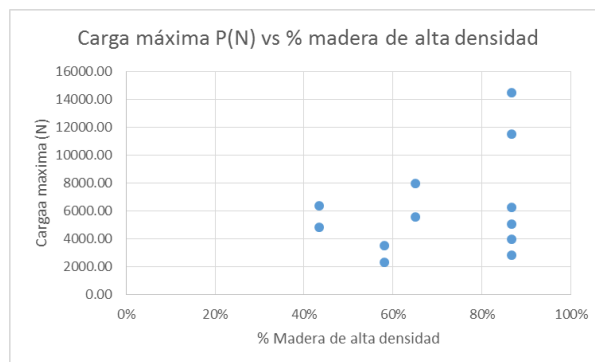
Fuente: Elaborado por el autor.

En vigas con tres uniones se presenta la menor dispersión de resultados, la carga máxima se registró en vigas con dos uniones, sin embargo el módulo de elasticidad máximo se presentó en vigas de cuatro uniones. El mejor comportamiento se obtiene en vigas con dos uniones, siendo estas vigas las que tienen la menor cantidad de juntas de todas las vigas analizadas.

4.4 Relación entre la densidad de piezas de madera reutilizada y el comportamiento mecánico de las vigas

Para determinar la relación entre la densidad de las piezas de madera reutilizada en el comportamiento mecánico de las vigas, se halla el porcentaje de madera de alta densidad de cada probeta, se realizan gráficos de porcentaje de vigas de alta densidad con la carga máxima y el módulo de elasticidad.

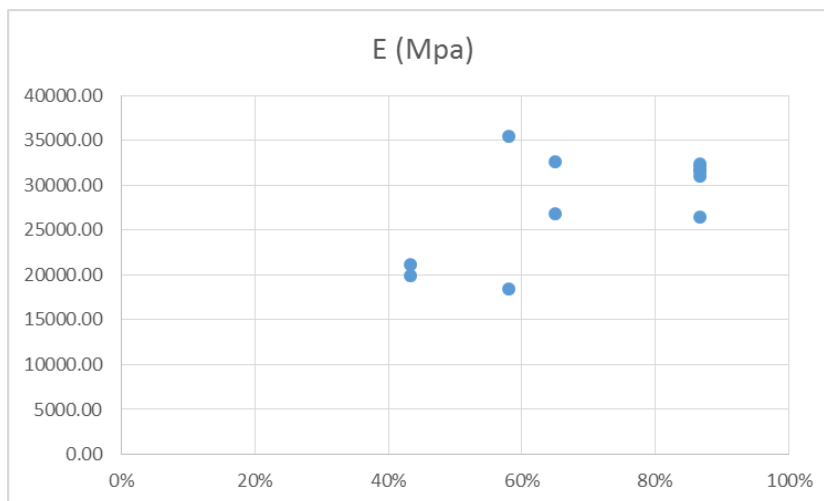
Figura 104. Relación entre la carga máxima y la densidad de la madera reutilizada.



Fuente: Elaborado por el autor.

La carga máxima se logró en para 87% de maderas de alta densidad en el alma, sin embargo hay gran variabilidad entre los valores de carga máxima para este porcentaje, no se encuentra una tendencia entre la resistencia de las vigas y la densidad de las maderas que componen el alma de la viga.

Figura 105. Relación entre el módulo de elasticidad y la densidad de la madera reutilizada



Fuente: Elaborado por el autor.

En cuanto al módulo de elasticidad, el valor máximo y el mínimo se reportó para 65% de maderas de alta densidad, la menor dispersión en los resultados se logró con 87% de maderas de alta densidad. No se establece una tendencia clara entre el módulo de elasticidad de la viga y la densidad de las piezas de madera reutilizada que compone el alma de la viga.

4.5 Tipos de falla.

Durante el ensayo de flexión se registraron dos tipos de falla:

- Tipo de falla 1: Comportamiento frágil. Falla en la línea de cola:

En este tipo de falla la viga llega a un nivel de esfuerzos en el cual la esterilla de guadua se separa del adhesivo, este tipo de fallas se debe a defectos de la fabricación en la etapa de encolado y prensado cuando el adhesivo no es suficiente en una zona determinada, también ocurre cuando la superficie de la esterilla no queda totalmente lisa luego del proceso en el que se retira el tejido parenquimático, esto conlleva a deficiencias en la presión de prensado ya que no es uniforme en la superficie de la guadua y la madera reutilizada.

Caber resaltar que en los elementos en las vigas en donde la falla en la línea de cola se presenta en los extremos del patín inferior se presenta una falla frágil. (Figura 106)

Figura 106. Falla en la línea de cola en los extremos de las vigas.

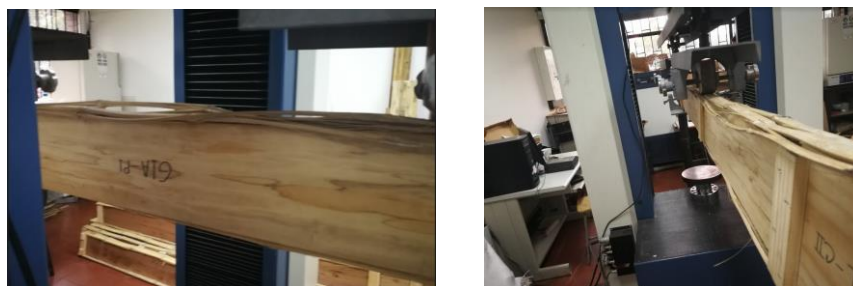


Fuente: Elaborado por el autor.

- Tipo de falla 2: Comportamiento dúctil: Falla por tensión en las fibras del patín inferior:

Este tipo de falla fue común en la mayoría de las probetas ensayadas, al empezar a aumentar la carga las vigas tienen un comportamiento elástico y se empiezan a deformar las fibras del patín superior que no están adheridas a la madera reutilizada. (Figura 107)

Figura 107. Deformación de las fibras de guadua sometidas a compresión.



Fuente: Elaborado por el autor.

En esta etapa hay un desplazamiento relativo entre las piezas de madera reutilizada, esta deformación solamente es controlada por la esterilla de guadua. En este orden de ideas la guadua realiza el mayor aporte a la rigidez de la viga.

Figura 108. Desplazamiento relativo entre piezas adyacentes.



Fuente: Elaborado por el autor.

Al aumentar la carga y la deflexión, la esterilla de la parte superior empieza a despegarse de las piezas de madera, en este punto se registra se el final del comportamiento elástico de la viga, el inicio del comportamiento plástico se caracteriza por que las fibras de guadua del patín inferior empiezan a ser más solicitadas y ya existen deformaciones permanentes.

Figura 109. Falla en la línea de cola de la parte superior de la viga.



Fuente: Elaborado por el autor.

Las deformaciones continúan y existen saltos en la gráfica carga deformación a medida que se despegan las fibras del patín superior, sin embargo en todos los casos la viga continua asumiendo carga hasta que supera la carga obtenida en el límite proporcional.

Figura 110. Deformación de la viga durante el ensayo de flexión.

Fuente: Elaborado por el autor.

Las deformaciones empiezan a ser mayores para pequeños incrementos de carga lo que le da ductilidad a las vigas, la falla se produce cuando se pierde la adherencia entre el patín inferior y el adhesivo o cuando las fibras de guadua superan su resistencia a la tensión. Es importante resaltar que las piezas de madera reutilizada no sufrieron daños en ninguna viga.

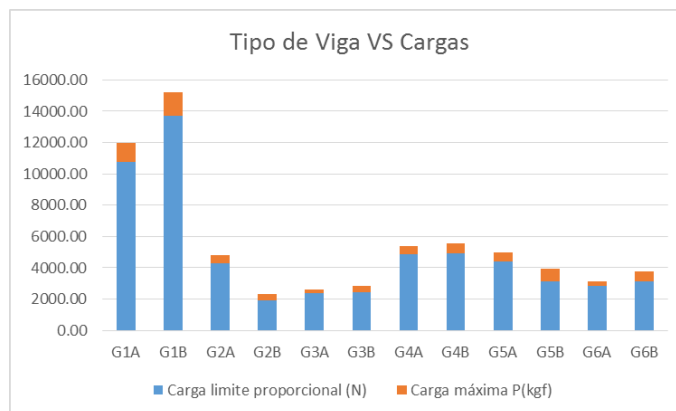
Figura 111. Falla por esfuerzos de tensión en la esterilla de la parte inferior y fallas en la línea de cola del patín inferior

Fuente: Elaborado por el autor.

4.6 Análisis de la ductilidad.

En general las vigas tienen un comportamiento dúctil, al finalizar su comportamiento elástico, las vigas continúan deformándose plásticamente sin colapsar. En todas las vigas se produce la carga máxima en el rango plástico.

Figura 112. Gráfico de tipo de viga vs carga máxima y en el límite proporcional.

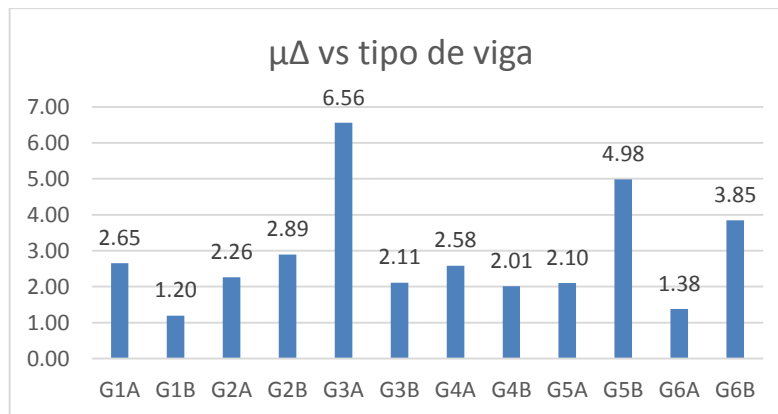


Fuente: Elaborado por el autor.

Este comportamiento es producido por la ductilidad de la *Guadua angustifolia kunth*, esta ductilidad se debe a que a ciertos niveles de esfuerzo empiezan a romperse gradualmente algunas fibras, sin embargo existe una redistribución de esfuerzos en las fibras que no han fallado lo cual le da ductilidad al material. (Estrada, 2016)

La ductilidad máxima al desplazamiento ocurrió en la viga G3A, para esta viga se obtuvo un valor de 6.56, lo cual quiere decir que puede deformarse 6.5 veces más que la deformación alcanzada en el límite proporcional, el menor valor registrado fue de 1.20 en la viga G1B, esta viga presento el mayor valor de carga máxima.

Figura 113. Gráfico de ductilidad del desplazamiento vs tipo de viga.



Fuente: Elaborado por el autor.

A pesar de que todas las vigas presentan ductilidad, este parámetro es muy variable en las probetas ensayadas, sin embargo en el menor valor de ductilidad reportado la viga alcanza a deformarse un 20% más después del límite proporcional antes de fallar.

El valor promedio del parámetro de ductilidad al desplazamiento es de 2.88, con una desviación estándar de 1.55, el coeficiente de variación es 54%.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Teniendo en cuenta el impacto ambiental que produce la industria de la construcción, es necesario desarrollar prácticas sostenibles, la innovación en materiales de construcción se desarrolla en un contexto de reducción de extracción de materias primas no renovables y mitigación de impactos ambientales, ocasionados por desechos de construcción, aumentando la vida útil de los materiales utilizados.

En países que no han desarrollado tecnologías basadas en el reutilización, los materiales se deben someter a procesos de transformación para ser reutilizados. Esta investigación propuso la construcción de elementos estructurales a partir de madera reutilizada unidos mediante *Guadua angustifolia kunth* que produjo las siguientes conclusiones:

- Etapa de fabricación:

- Procesamiento de la madera reutilizada:

Las piezas de madera reutilizada se deben someter a una exhaustiva inspección visual, es importante analizar patológicamente cada pieza de madera recuperada para identificar lesiones físicas, mecánicas o químicas que puedan afectar el comportamiento mecánico de las vigas, por otro lado, durante el proceso de desmonte, las piezas de madera son sometidas a procedimientos que ocasionan perforaciones, agrietamiento, aristas faltantes y contaminación por agentes químicos. Estos defectos deben ser retirados manteniendo el mayor tamaño posible de cada pieza.

Una vez retirados los defectos se deben ajustar las dimensiones de cada elemento garantizando uniformidad en la altura, el ancho y el espesor de las piezas de madera, este aspecto es muy importante en el proceso de ensamble ya que se debe garantizar el contacto total entre elementos adyacentes, además, diferentes medidas en la altura de las piezas ocasiona que la presión de prensado no sea la misma a lo largo de la viga reduciendo la resistencia de la línea de cola.

- Procesamiento de la *Guadua angustifolia Kunth*:

Las fibras de esterilla de guadua deben ser continuas a lo largo de toda la viga, es difícil controlar el ancho de la esterilla, por este motivo se debe

garantizar que la menor medida del ancho corresponda a la medida de diseño.

El tejido parenquimático debe ser retirado hasta que las fibras de la guadua queden expuestas, así mismo, las protuberancias de los nudos deben ser pulidas hasta que toda la esterilla tenga el mismo espesor, de no ser así la presión de prensado se concentrará en estos puntos generando deficiencias en la presión de prensado en los entrenudos.

En los casos en que en la superficie exterior de la esterilla se encuentren ramas, se deben retirar dejando la superficie lo más uniforme posible, de no ser retiradas se presentan problemas en el prensado ya que se genera una rotación del elemento y es imposible realizar este procedimiento.

- Proceso de encolado, prensado y curado:

En el proceso de encolado se deben seguir las recomendaciones del fabricante para usar la cantidad de adhesivo y catalizador adecuada, además de la presión de prensado y el tiempo de curado correcto.

Antes de iniciar en encolado se debe verificar que las superficies de las piezas de madera y de guadua estén limpias y sean uniformes, el adhesivo se debe aplicar de manera uniforme evitando zonas con excesos, es importante tener en cuenta el tiempo de aplicación para lo cual es recomendable mezclar pequeñas cantidades de adhesivo.

- Resultados obtenidos:

La mayor carga máxima registrada en los ensayos de flexión fue de 14482.00 N, para la viga G1B compuesta por dos piezas de madera de baja densidad en los extremos (0.2m x 0.16m) y un elemento central de madera de alta densidad (2.60m x 0.16), esta configuración presenta el menor número de uniones y la pieza de madera de mayor longitud.

La menor carga máxima registrada fue de 2353.30 N, para la viga G3A compuesta por dos elementos de alta densidad en los extremos (0.87m x 0.16m), y tres elementos centrales de baja densidad: un elemento central de (0.87m x 0.16m) y dos elementos a cada lado de (0.2m x 0.16m).

El esfuerzo de la fibra más alejada del eje neutro en el límite proporcional y el módulo de rotura se calcularon para las fibras sometidas a tensión y a compresión, los máximos esfuerzos se producen en las fibras inferiores sometidas a tensión.

Al tratarse de un elemento compuesto por varios materiales fue necesario calcular la relación entre el módulo de elasticidad de la guadua y una constante de elasticidad en el alma, teniendo en cuenta que las maderas reutilizadas solo están unidas en la parte superior e inferior por la guadua. En las vigas no hay transmisión de esfuerzos de corte entre las piezas de madera, la fricción que se desarrolla entre las piezas adyacentes no es suficiente para asumir el esfuerzo de corte y se presenta un desplazamiento relativo entre piezas de madera.

Esta condición hace difícil encontrar la relación entre el esfuerzo y el desplazamiento en el alma de las vigas, para hallarlo se analizó la deformación de la viga mediante el método de los elementos finitos, realizando iteraciones en la constante de elasticidad hasta conseguir la deflexión registrada en el ensayo de flexión en una condición de carga determinada dentro del rango elástico. Luego de utilizar esta constante de elasticidad para hallar el módulo de elasticidad de cada viga, se realizaron curvas Esfuerzo vs. Deformación con los resultados obtenidos en el ensayo y se encontró el módulo de elasticidad gráficamente como la pendiente de la recta que describe el comportamiento en el rango elástico, como resultado se obtuvo valores muy cercanos entre los dos métodos comprobando la validez del método de cálculo de la constante de deformación del alma de cada viga por el método de los elementos finitos.

Los resultados obtenidos se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 42. Resumen de resultados obtenidos.

	PROMEDIO	QUINTO PERCENTIL	VALOR CARACTERISTICO
Sft (MPa)	30.26	14.77	7.72
Sfc (MPa)	22.74	10.49	4.94
Srt (MPa)	39.00	17.94	11.36
SRc (MPa)	29.1	12.77	7.56
E (MPa)	28299.23	19228.04	16219.06

Fuente: Elaborado por el autor.

La dispersión de los resultados fue bastante alta, para el esfuerzo de la fibra más alejada del eje neutro en el límite proporcional se tiene un coeficiente de variación de 61.24% en tensión y 67.85% a compresión. En cuanto al módulo de ruptura el coeficiente de variación es de 47.01% a tensión y 52.37% a compresión. Los valores del módulo de elasticidad tuvieron un coeficiente de variación del 20%, teniendo la menor dispersión de todos los resultados.

Esta dispersión hace que los valores promedio de esfuerzo de la fibra más alejada del eje neutro en el límite proporcional y módulo de ruptura se reduzcan en más de un 50% para el quinto percentil y en más del 70% para el valor característico. En el caso del módulo de elasticidad se reduce en un 32% para el quinto percentil y 43% para el valor característico. La dispersión en los resultados se produce por la variación en la calidad en el proceso de encolado teniendo en cuenta que las irregularidades en el espesor de la esterilla provocan deficiencias de presión en

algunas zonas, así mismo es difícil mantenerla en su sitio justo antes de aplicarles presión.

La variación de los contenidos de humedad (desviación estándar del CH) de las piezas que componen las vigas con relación a la carga máxima no muestra una tendencia definida. El comportamiento de las vigas no está determinado por el contenido de humedad de las piezas que componen el alma de las probetas ensayadas.

No se encontró una relación entre el contenido de humedad de las piezas de madera reutilizada y la resistencia de las vigas, lo mismo ocurre con el tamaño máximo de las piezas utilizadas y con el número de uniones. El comportamiento depende entonces de la resistencia los elementos de *Guadua angustifolia kunth* y la calidad de la línea de adhesivo.

En vigas con tres uniones se presenta la menor dispersión de resultados, la carga máxima se registró en vigas con dos uniones, sin embargo el módulo de elasticidad máximo se presentó en vigas de cuatro uniones. El mejor comportamiento se obtiene en vigas con dos uniones, siendo estas vigas las que tienen la menor cantidad de juntas de todas las vigas analizadas.

En cuanto a la relación entre el módulo de elasticidad y la densidad de la madera reutilizada, el valor máximo y mínimo del módulo de elasticidad se reportó para las vigas construidas con el 65% de maderas de alta densidad, la menor dispersión en los resultados se logró con 87% de maderas de alta densidad. No se establece una tendencia clara entre el módulo de elasticidad de la viga y la densidad de las piezas de madera reutilizada que compone el alma de la viga.

En general las vigas tienen un comportamiento dúctil, al finalizar su comportamiento elástico, las vigas continúan deformándose plásticamente sin colapsar. En todas las vigas se produce la carga máxima en el rango plástico. La ductilidad máxima al desplazamiento ocurrió en la viga G3A, para esta viga se obtuvo un valor de 6.56, lo cual quiere decir que puede deformarse 6.5 veces más que la deformación alcanzada en el límite proporcional, el menor valor registrado fue de 1.20 en la viga G1B, esta viga presento el mayor valor de carga máxima.

- Tipos de falla:

Se registraron dos tipos de falla principales:

1. Falla frágil cuando se falla la línea de adhesivo en los extremos de las vigas debido a defectos en la fabricación específicamente en el proceso de encolado y prensado.

2. Falla dúctil en la cual se presenta un comportamiento elástico en el cual las fibras superiores sometidas a compresión empiezan a deformarse en las zonas que no están adheridas al alma y se producen desplazamientos relativos entre las piezas, luego el patín superior empieza a desprenderse del alma empezando el comportamiento elástico de la viga, este proceso es gradual y produce saltos en la curva carga vs deformación, la deformación empieza a aumentar para pequeñas variaciones de carga porque todo el esfuerzo lo asume el patín inferior, la falla se produce cuando la guadua de la parte inferior falla por tensión o cuando se desprende del alma de la viga en los extremos. Es importante resaltar que ninguna pieza de madera reutilizada sufrió daños, la ruptura se registra en la esterilla de guadua o en la línea de cola.

5.2 Recomendaciones

Se debe buscar una menor dispersión en el comportamiento mecánico de las vigas de madera reutilizada unidas con *Guadua angustifolia kunth* para aumentar los valores característicos. Teniendo en cuenta que hay vigas que tuvieron un buen comportamiento hay que mejorar el proceso de fabricación de las piezas de *Guadua angustifolia kunth* aumentando la calidad de la línea de adhesivo, garantizando una presión de prensado uniforme en toda la viga.

La selección de la esterilla se realizó bajo la premisa de trabajar con el material que generara el menor consumo energético y el menor costo económico. Sin embargo, siendo consiente de los problemas que se generan en el proceso de prensado, se deben incorporar procesos y equipos que permitan trabajar con productos de guadua más uniformes.

Posteriores investigaciones podrían incorporar equipos que permitan mantener uniformidad en las dimensiones de la guadua, se recomienda el uso de una sierra de discos paralelos. Así mismo, las latillas de guadua solucionan problemas en el prensado ya que las superficies son uniformes, sin embargo se pierde el aporte de la pared externa que es la más resistente debido a su dureza y mayor cantidad de fibras.

A pesar de ser un elemento construido con madera presenta ductilidad gracias a la guadua, se recomienda estudiar un método de diseño estructural más adecuado ya que en el método de los esfuerzos admisibles, por el cual se diseñan las estructuras de madera según el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR10, no se tendría en cuenta la ductilidad las vigas estudiadas.

6.DISCUSIÓN

Es necesario incentivar la práctica del reciclaje y la reutilización de materiales que han sido desechados en actividades de construcción, en esta investigación se proponen elementos estructurales innovadores, teniendo en cuenta que reutilizan madera uniéndola con *Guadua angustifolia kunth*, un material con grandes ventajas ambientales y mecánicas.

Sin embargo, para reducir al máximo el consumo de energía en el proceso de fabricación se decidió utilizar esterilla de guadua, lo cual ocasionó inconvenientes en la fase de encolado y prensado de las vigas, que se vio reflejado en una alta dispersión de los resultados, esta dispersión conlleva a que los valores característicos de los parámetros que determinan el comportamiento mecánico de las vigas sean mucho menores a los valores promedio encontrados.

Para disminuir la dispersión de los resultados se propone mejorar el proceso de fabricación de los elementos de *Guadua angustifolia kunth*, aunque se consumirá más energía en el proceso se podrían obtener valores característicos más altos que permitan el uso de estos elementos en estructuras de manera más segura.

Hay que destacar que el sistema propuesto tiene un comportamiento dúctil con un rango inelástico bastante amplio, por lo tanto es un material que acumula una gran cantidad de energía inelástica de deformación, un estudio detallado del módulo de tenacidad nos determinará la energía necesaria para llegar al punto de ruptura, este parámetro es sumamente importante para el diseño de construcciones sismo resistentes. Sin embargo, para aprovechar la ductilidad del material el diseño estructural no debe realizarse por el método de los esfuerzos admisibles.

El sistema propuesto aporta significativamente a la cadena de valor de la *Guadua angustifolia kunth*, que a pesar de ser un recurso abundante en la región ha sido subvalorado, el desarrollo científico y la innovación en productos a base de este material que promuevan alternativas sostenibles dinamizaran la economía rural contribuyendo al desarrollo social de las comunidades.

Bibliografía

- Addis, W. (2004). Principles of desing for deconstruction to dacilitate reuse and recycling.
- AIS Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica (2010) Reglamento Colombiano de construccion sismo resistente.
- ASTM. D198. Estandard test methods of static test of lumber in structural sizes.
- Bassett, K. (1960). Effect on certain variables on strength of glued end promediond joints. Forest Products Journal. 10 (11): 1960, p 579 - 585
- 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.
- Carvajal W, Ortegon W & Romero (1981). Elementos estructurales en bambú.
- Chini, A. R., and Nguyen, H. T., (2003), "Optimizing Deconstruction of Lightwood Framed Deconstruction", in proceedings of the 11th Rinker International Conference on Deconstruction and Materials Reuse, CIB Publication 287, May 7-10, Gainesville, Florida, pp 311-321.
- Echavarría, C., Jiménez, L., & Ochoa, J. C. (2012). Bamboo-Reinforced Glulam Beams : an Alternative To Fiberglass-Reinforced Glulam Beams, 24–30.
- Environmental Protection Agency United States. (2008). Lifecycle Construction Resource Guide.
- Estrada, M. (2016). Modelo numérico micromecánico del proceso de fractura de estructuras fabricadas con bambú Guadua angustifolia.
- Flak, R., Green, D., & Lantz, S. C. (1999). E VALUATION OF LUMBER RECYCLED FROM AN INDUSTRIAL MILITARY BUILDING, 49(8816), 49–55.
- Gonzalez, H., Hellwing, S., & Montoya, J. (2009). DETERMINACIÓN DEL ADHESIVO ÓPTIMO EN LA FABRICACIÓN DE VIGAS DE BAMBÚ (Guadua angustifolia)
PROCEDURE TO DETERMINE THE OPTIMUM ADHESIVE FOR
MANUFACTURING TIMBER OF BAMBOO (Guadua angustifolia).
- Guy, A. B. (n.d.). Design for Deconstruction and Materials Reuse.
- Guyand McLendon, (2000) Building Deconstruction: Reuse and Recycling of Building Materials
- Hernández, A. V., Alejandro, D., & Cardona, R. (2012). Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia, (1), 105–118.
- Hoheisel, H. (1988). Principios básicos de encolado uniones de dentadura. Seminario

- aplicaciones estructurales de la madera: cercha, vigas laminadas y conectores. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- ICONTEC. Norma tecnica colombiana NTC 5279. Metodos de ensayo estatico para madera de tamaños estructurales.
- ICONTEC. Norma tecnica colombiana NTC 5525. Metodos de ensayo para determinar las propiedades fisicas y mecanicas de la Guadua angustifolia Kunth.
- Jacob, J., & Barragán, O. (2007). Flexural strengthening of glued laminated timber beams with steel and carbon fiber reinforced polymers. *Department of Civil and Environmental Engineering*
- Junta del acuerdo de Cartagena. (1982). Manual de diseno para maderas del Grupo andino.
- Kay (2000) The Salvo Guide 2000. Salvo: Berwick – upon- Tweed
- Kibert, C. J., Chini, A. R., & Languell, J. (2001). DECONSTRUCTION AS AN ESSENTIAL COMPONENT OF SUSTAINABLE CONSTRUCTION, (April), 1–11.
- Li, H., Zhang, Q., Huang, D., & John, A. (2013). Composites : Part B Compressive performance of laminated bamboo. *Composites Part B*, 54, 319–328. <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.05.035>
- Li, Y., Shan, W., Shen, H., Zhang, Z., & Liu, J. (2015). Bending resistance of I-section bamboo – steel composite beams utilizing adhesive bonding. *Thin Walled Structures*, 89, 17–24. <http://doi.org/10.1016/j.tws.2014.12.007>
- López, L. F., & Correal, J. F. (2009). Estudio exploratorio de los laminados de bambú Guadua angustifolia como material estructural. *Maderas. Ciencia Y Tecnología*, 1
- Lozano, J. (2010). Diversas aplicaciones del bambú en la arquitectura.
- McDonoufh. W and Braungart . M. (2009) Cradle to cradle: Remaking the way we make things.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia. (2017). Resolucion 472 del 20 de febrero de 2017 “ Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolicion - RCD y se dictan otras disposiciones.”
- Nakajima, S Makoto K, Masashi M. (2001) Desing for easy to deconstruct and easy to recycle wooden buildings.
- Nakajima, S., Futaki, M.,(2001) National R&D Project To Promote Recycle And Reuse Of Timber Constructions In Japan, Building Research Institute, Tsukuba, Ibaraki, Japan, Paper presented to CIB Task Group 39 Meeting April 6, 2001, Wellington, NZ.
- Nordic Innovation. (2014). *Environmentally Sustainable Construction Products and Materials – Assessment of release.*
- Olarte Arenas, A. M. (2012). DISEÑO DE CONEXIONES EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE . Bogota.

- Pérez, V. (1992). Manual de madera laminada. Santiago: Instituto Forestal de Chile.
- Pinilla Rodriguez, J. J. (2010). Comportamiento estructural de guadua angustifolia laminada, ante carga perpendicular y paralela a su plano / Structural behavior of laminated-guadua angustifolia boards, under perpendicular and parallel plane loads, 157. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/4975/>
- Quevedo, V. (2000). Adherencia y adhesivos para madera. Seminario materiales de nueva generación y materiales eficientes. Alcala: Universidad de Alcala.
- Reyes, E., & Rayo, G. (2014). Comportamiento a Flexión de Vigas de Madera de Gran Longitud de Sección Compuesta Reforzadas con Láminas Pegadas, Prensadas de Guadua "Angustifolia Kunth, 95.
- Schober, K., Harte, A. M., Kliger, R., Jockwer, R., Xu, Q., & Chen, J. (2015). FRP reinforcement of timber structures. *Construction and Building Materials*, 97, 106–118. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.020>
- Takeuchi, C. P. (2014). Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural.
- U.S. Green Building Council. (n.d.). LEED v 4 for BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION.
- Villegas, M (2003). Guadua, Arquitectura y diseño.
- Voermans, J. (2006). Glued laminated bamboo: analysis of bamboo applied in laminated beams.
- Xiao, Y., Shan, B., Yang, R., Li, Z., & Chen, J. (2014). Glue Laminated Bamboo (GluBam) for Structural Applications, (January). <http://doi.org/10.1007/978-94-007-7811-5>
- Zabusova, D. (2014). Design for Deconstruction, (October).
- Zhong, R., Gu, J., Gao, Z., Tu, D., & Hu, C. (2017). International Journal of Adhesion and Adhesives Impacts of urea-formaldehyde resin residue on recycling and reconstitution of wood-based panels, 78(May), 60–66.

**A. Anexo: Formato Clasificación
visual recepción de madera.**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  GIMG Grupo Investigaciones Madera y Construcción  CIBAM		COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL				
GRUPO	G1	Clasificación Visual - Recepción de madera		Formato	FEDTM VT-1A	
Autor:		Ing. Andrés Felipe Guerra		Director : Arq. Jorge Enrique Lozano		
Fecha:		Maestría en Construcción		Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá		
FOTOGRAFÍAS						
						
1	DEFECTO	PARAMETRO	DESCARTAR			
	ALABEOS					
	Abarquillado	<0.01d				
	Arqueadura	<0.003L				
	Enconradura	<0.003L				
	Torcedura	<0.003L				
2	ARISTA FALTANTE (una sola cara)	Max. 0.25d Max. 0.25L	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	MEDULA	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				

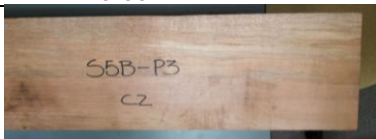
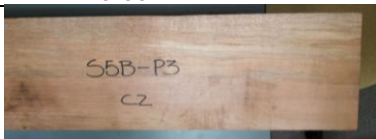
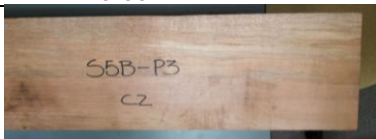
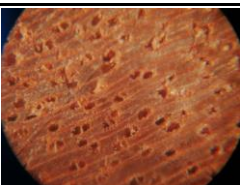
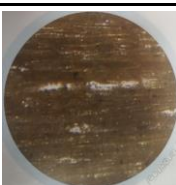
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  GING Organización Ingenieros y Arquitectos  CIBAM		COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL			
GRUPO	G2	Clasificación Visual - Recepción de madera		Formato	FEDTM VT-1A
Autor:		Ing. Andrés Felipe Guerra		Director : Arq. Jorge Enrique Lozano	
Fecha:				Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
DEFECTO		PARAMETRO	DESCARTAR	FOTOGRAFÍAS	
1	ALABEOS				
	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			

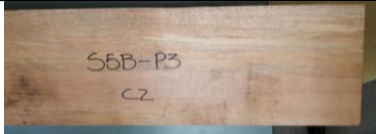
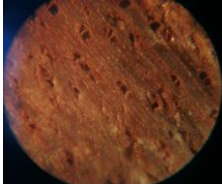
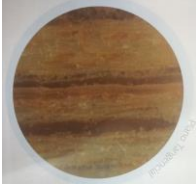
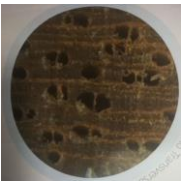
 NACIONAL DE COLOMBIA  Grupo Integrado Madera y Cadenas CIBAM COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL							GRUPO		G3	Clasificación Visual - Recepción de madera		Formato	FEDTM VT-1A
Autor:				Ing. Andrés Felipe Guerra		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano						
Fecha:				Maestría en Construcción		Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá							
DEFECTO		PARAMETRO	DESCARTAR	FOTOGRAFÍAS									
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	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											
Observaciones Generales:		Numeración de izquierda a derecha, 4 elementos para este grupo											

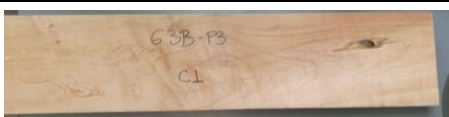
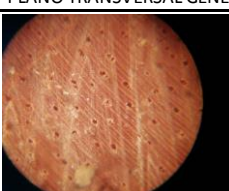
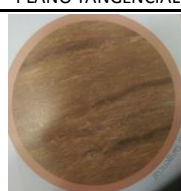
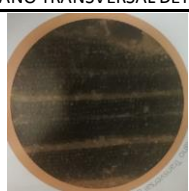
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  Grupo Integración Madera y Bambú  CIBAM COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL					GRUPO		G5	Clasificación Visual - Recepción de madera	Formato	FEDTM VT-1A
Autor:		Ing. Andrés Felipe Guerra		Director : Arq. Jorge Enrique Lozano						
Fecha:				Maestría en Construcción						
				Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá						
DEFECTO		PARAMETRO	DESCARTAR	FOTOGRAFÍAS						
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								
	FALLA DE COMPRESIÓN	NO								
6	GRANO INCLINADO	MAX. 1:8								
7	GRIETA SUPERFICIAL	SUMA<0.25b	2							
8	MEDULA	NO								
9	PUDRICIÓN	NO	3							
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						

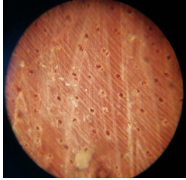
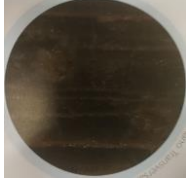
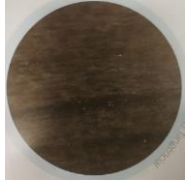
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  INGENIERIA Y MANEJO DE RECURSOS GING  CIBAM		COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL				
		GRUPO	G6	Clasificación Visual - Recepción de madera	Formato	FEDTM VT-1A
		Autor:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
		Fecha:	Maestría en Construcción Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá			
DEFECTO		PARAMETRO	DESCARTAR	FOTOGRAFÍAS		
1	ALABEOS					
	Abarquillado	<0.01d				
	Arqueadura	<0.003L				
	Encorvadura	<0.003L				
	Torcedura	<0.003L				
	ARISTA FALTANTE (una sola cara)	Max. 0.25d Max. 0.25L				
	DURAMEN QUEBRADIZO	NO				
	ESCAMADURAS (una sola cara)	<0.1b <0.25b				
	FALLA DE COMPRESIÓN	NO				
	GRANO INCLINADO	MAX. 1:8				
	GRIETA SUPERFICIAL	SUMA<0.25b	5			
	MEDULA	NO				
	PUDRICIÓN	NO				
RAJADURAS	Long max = b					
MANCHAS	NO	2				
NUDOS ARRACIMADOS	NO					
DIMENSIONES MINIMAS	<0.18m	1				
Observaciones Generales:		Numeración de izquierda a derecha, 5 elementos para este grupo				

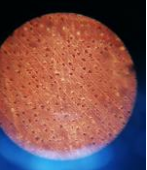
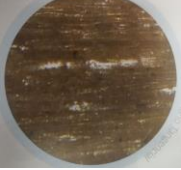
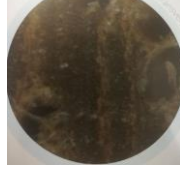
B. Anexo: Formato Clasificación macroscópica.

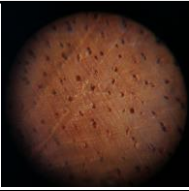
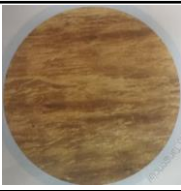
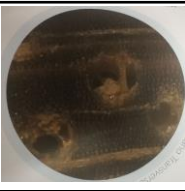
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL																					
	Madera Tipo	M1	CARACTERIZACION MACROSCÓPICA	Formato	FCM MT-1																	
	Autor:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano																	
	Fecha:	09-oct-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																		
	MADERA TIPO 1																					
<table border="1"> <tr> <td>NOMBRE COMÚN</td> <td>Cuángare, Otobo, Castaño, Nuánamo</td> </tr> <tr> <td>SINONIMOS</td> <td>Dályanthera lehmannii</td> </tr> <tr> <td>NOMBRE CIENTIFICO</td> <td>Otoba Lehmannii</td> </tr> </table>		NOMBRE COMÚN	Cuángare, Otobo, Castaño, Nuánamo	SINONIMOS	Dályanthera lehmannii	NOMBRE CIENTIFICO	Otoba Lehmannii	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">PROPIEDADES FISICAS</th> </tr> <tr> <td>DENSIDAD BASICA (g/cm3)</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>CONTRACCION RADIAL %</td> <td>5.7</td> </tr> <tr> <td>CONTRACCION TANGENCIAL %</td> <td>8.7</td> </tr> <tr> <td>CONTRACCION VOLUMETRICA %</td> <td>13.9</td> </tr> <tr> <td>RELACION CT/CR</td> <td>1.5</td> </tr> </table>			PROPIEDADES FISICAS		DENSIDAD BASICA (g/cm3)	0.5	CONTRACCION RADIAL %	5.7	CONTRACCION TANGENCIAL %	8.7	CONTRACCION VOLUMETRICA %	13.9	RELACION CT/CR	1.5
NOMBRE COMÚN	Cuángare, Otobo, Castaño, Nuánamo																					
SINONIMOS	Dályanthera lehmannii																					
NOMBRE CIENTIFICO	Otoba Lehmannii																					
PROPIEDADES FISICAS																						
DENSIDAD BASICA (g/cm3)	0.5																					
CONTRACCION RADIAL %	5.7																					
CONTRACCION TANGENCIAL %	8.7																					
CONTRACCION VOLUMETRICA %	13.9																					
RELACION CT/CR	1.5																					
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA</th> </tr> <tr> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>		FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA				<table border="1"> <tr> <th colspan="2">PROPIEDADES MECANICAS</th> </tr> <tr> <td>MODULO DE RUPTURA kg/cm2</td> <td>1208</td> </tr> <tr> <td>MODULO DE ELASTICIDAD t/cm2</td> <td>157</td> </tr> <tr> <td>COMPRESION PARALELA kg/cm2</td> <td>687</td> </tr> <tr> <td>COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>DUREZA EN LOS LADOS kg</td> <td>390</td> </tr> <tr> <td>TENACIDAD kg-m</td> <td>2.11</td> </tr> </table>			PROPIEDADES MECANICAS		MODULO DE RUPTURA kg/cm2	1208	MODULO DE ELASTICIDAD t/cm2	157	COMPRESION PARALELA kg/cm2	687	COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2	57	DUREZA EN LOS LADOS kg	390	TENACIDAD kg-m	2.11
FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA																						
																						
PROPIEDADES MECANICAS																						
MODULO DE RUPTURA kg/cm2	1208																					
MODULO DE ELASTICIDAD t/cm2	157																					
COMPRESION PARALELA kg/cm2	687																					
COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2	57																					
DUREZA EN LOS LADOS kg	390																					
TENACIDAD kg-m	2.11																					
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS</th> </tr> <tr> <td>COLOR</td> <td>Amarillo Rojizo (7.5YR 7/6), sin diferencia entre albura y</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>Mate</td> </tr> </table>					CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS		COLOR	Amarillo Rojizo (7.5YR 7/6), sin diferencia entre albura y	VETADO	Líneas Vasculares	OLOR	No distintivo	LUSTRE	Mate								
CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS																						
COLOR	Amarillo Rojizo (7.5YR 7/6), sin diferencia entre albura y																					
VETADO	Líneas Vasculares																					
OLOR	No distintivo																					
LUSTRE	Mate																					
CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS																						
PLANO TRANSVERSAL GENERAL		PLANO TANGENCIAL		PLANO TRANSVERSAL DETALLE																		
																						
ANILLOS DE CRECIMIENTO	VASOS	PARENQUIMA AXIAL	PARENQUIMA RADIAL	OTRAS ESTRUCTURAS																		
Indistintos o ausentes	Poros visibles con aumento de 10X predominantemente	Indistinto o ausente	Visible con aumento de 10X en el plano transversal.	Ausente																		

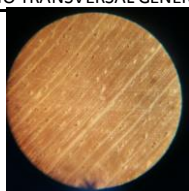
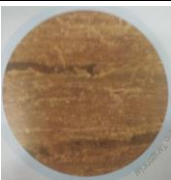
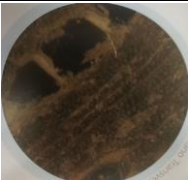
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL				
	Madera Tipo	M2	CARACTERIZACION MACROSCÓPICA	Formato	FCM MT-1
	Autor:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
	Fecha:	09-oct-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
	MADERA TIPO 1				
NOMBRE COMÚN Sangretoro, sangre de toro, soto, cuángare SINONIMOS Virola Sebifera Aubl. NOMBRE CIENTIFICO Osteosphoemumplatyspermum		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			
FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA 		PROPIEDADES MECANICAS MODULO DE RUPTURA kg/cm2 624 MODULO DE ELASTICIDAD t/cm2 100 COMPRESION PARALELA kg/cm2 354 COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2 27 DUREZA EN LOS LADOS kg 216 TENACIDAD kg-m 0.61			
CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS COLOR Albura de color marrón muy pálido (10YR 8/3), con transición VETADO Líneas vasculares OLOR No Distintivo LUSTRE Brillante					
CARACTERISTICAS MACROSCÓPICAS					
PLANO TRANSVERSAL GENERAL		PLANO TANGENCIAL		PLANO TRANSVERSAL DETALLE	
					
ANILLOS DE CRECIMIENTO	VASOS	PARENQUIMA AXIAL	PARENQUIMA RADIAL	OTRAS ESTRUCTURAS	
Indistintos o ausentes.	Visibles a simple vista, múltiples de 2-3 poros con algunos solitarios;	No notorio aún con aumento de 20X	Visibles con aumento de 10X en el plano transversal.	Ausente	

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL				
	Madera Tipo	M3	CARACTERIZACION MACROSCÓPICA	Formato	FCM MT-1
	Autor:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
	Fecha:	09-oct-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
	MADERA TIPO 1				
NOMBRE COMÚN		Comino, chachajo, laurel comino, mediocomino			
SINONIMOS		Aniba compacta			
NOMBRE CIENTIFICO		Aniba perutilis Hemsl			
FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA					
					
CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS					
COLOR	Amarillo oliva (2.5Y 6/6), sin transición entre albura y duramen				
VETADO	Líneas vasculares				
OLOR	Distintivo				
LUSTRE	Brillante				
PROPIEDADES FISICAS					
DENSIDAD BASICA (g/cm3)		0.52			
CONTRACCION RADIAL %		4.8			
CONTRACCION TANGENCIAL %		8			
CONTRACCION VOLUMETRICA %		12.8			
RELACION CT/CR		1.7			
PROPIEDADES MECANICAS					
MODULO DE RUPTURA kg/cm2		1227			
MODULO DE ELASTICIDAD t/cm2		121			
COMPRESION PARALELA kg/cm2		653			
COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2		109			
DUREZA EN LOS LADOS kg		429			
TENACIDAD kg-m		0.65			
CARACTERÍSTICAS MACROSCOPICAS					
PLANO TRANSVERSAL GENERAL		PLANO TANGENCIAL		PLANO TRANSVERSAL DETALLE	
					
ANILLOS DE CRECIMIENTO	VASOS	PARENQUIMA AXIAL	PARENQUIMA RADIAL	OTRAS ESTRUCTURAS	
Indistintos o ausentes	Poros visibles a simple vista, solitarios y múltiples de 2-3 poros	No notorio aún con aumento de 20 X	Visibles con aumento de 10X en el plano transversal.	Ausente	

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL				
	Madera Tipo	M4	CARACTERIZACION MACROSCÓPICA	Formato	FCM MT-1
	Autor:	Ing. Andrés Felipe Guerra	Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano	
	Fecha:	09-oct-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
	MADERA TIPO 1				
NOMBRE COMÚN Eucalipto, ocal, ocalito, ucal, eucalipto común SINONIMOS NOMBRE CIENTIFICO Eucalyptus globulus Labill		PROPIEDADES FISICAS DENSIDAD BASICA (g/cm3) 0.55 CONTRACCION RADIAL % 6.7 CONTRACCION TANGENCIAL % 14.2 CONTRACCION VOLUMETRICA % 19.9 RELACION CT/CR 2.2			
FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA 		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 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	OTRAS ESTRUCTURAS	
Visibles a simple vista, definidos por un cambio en el diámetro de las	Poros visibles a simple vista, solitarios, rara vez múltiples de 2 poros;	Visible a simple vista, de tipo vasicentrico confluyente en cadenas	Visibles con aumento de 10X en el plano transversal.	Bolsas de resina	

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL				
	Madera Tipo	M5	CARACTERIZACION MACROSCÓPICA	Formato	FCM MT-1
	Autor:	Ing. Andrés Felipe Guerra	Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano	
	Fecha:	09-oct-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
	MADERA TIPO 1				
NOMBRE COMÚN Laurel, jigua, jigua amarillo, jigua negro, aceituno		PROPIEDADES FISICAS			
SINONIMOS Mespilodaphne Nees, Oreodaphne Nees		DENSIDAD BASICA (g/cm3) 0.65			
NOMBRE CIENTIFICO Ocoteasp o Anibasp		CONTRACCION RADIAL % 2.45			
FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA		CONTRACCION TANGENCIAL % 3.87			
		CONTRACCION VOLUMETRICA % 6.47			
CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS		RELACION CT/CR 1.58			
COLOR	Albura de color amarillo (10YR 8/6) con transición gradual al	PROPIEDADES MECANICAS			
VETADO	Líneas vasculares	MODULO DE RUPTURA kg/cm2 1480			
OLOR	No Distintivo	MODULO DE ELASTICIDAD t/cm2 72			
LUSTRE	Mate	COMPRESION PARALELA kg/cm2 769			
		COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2 154			
		DUREZA EN LOS LADOS kg 727			
		TENACIDAD kg-m 1.08			
CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS					
PLANO TRANSVERSAL GENERAL		PLANO TANGENCIAL		PLANO TRANSVERSAL DETALLE	
					
ANILLOS DE CRECIMIENTO	VASOS	PARENQUIMA AXIAL	PARENQUIMA RADIAL	OTRAS ESTRUCTURAS	
No notorios o ausentes.	Poros visibles a simple vista, solitarios y múltiples de 2-5 poros;	Visible con aumento de 10X, de tipo paratraqueal vasicentrico delgado y	Visibles con aumento de 10X en el plano transversal.	Ausente	

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL															
	Madera Tipo	M6	CARACTERIZACION MACROSCÓPICA	Formato	FCM MT-1											
	Autor:	Ing. Andrés Felipe Guerra	Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano												
	Fecha:	09-oct-17	Maestría en Construcción	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		PROPIEDADES FISICAS <table border="1"> <tr><td>DENSIDAD BASICA (g/cm3)</td><td>0.429</td></tr> <tr><td>CONTRACCION RADIAL %</td><td>2.8</td></tr> <tr><td>CONTRACCION TANGENCIAL %</td><td>4.08</td></tr> <tr><td>CONTRACCION VOLUMETRICA %</td><td>5.24</td></tr> <tr><td>RELACION CT/CR</td><td>1.45</td></tr> </table>			DENSIDAD BASICA (g/cm3)	0.429	CONTRACCION RADIAL %	2.8	CONTRACCION TANGENCIAL %	4.08	CONTRACCION VOLUMETRICA %	5.24	RELACION CT/CR	1.45		
DENSIDAD BASICA (g/cm3)	0.429															
CONTRACCION RADIAL %	2.8															
CONTRACCION TANGENCIAL %	4.08															
CONTRACCION VOLUMETRICA %	5.24															
RELACION CT/CR	1.45															
FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA 		PROPIEDADES MECANICAS <table border="1"> <tr><td>MODULO DE RUPTURA kg/cm2</td><td>921</td></tr> <tr><td>MODULO DE ELASTICIDAD t/cm2</td><td>124</td></tr> <tr><td>COMPRESION PARALELA kg/cm2</td><td>514</td></tr> <tr><td>COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2</td><td>76</td></tr> <tr><td>DUREZA EN LOS LADOS kg</td><td>337</td></tr> <tr><td>TENACIDAD kg-m</td><td>0.39</td></tr> </table>			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
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 <table border="1"> <tr><td>COLOR</td><td>Amarillo pálido (2.5Y 8/2), sin transición entre albura y duramen</td></tr> <tr><td>VETADO</td><td>Suave no acentuado</td></tr> <tr><td>OLOR</td><td>No Distintivo</td></tr> <tr><td>LUSTRE</td><td>Brillante</td></tr> </table>					COLOR	Amarillo pálido (2.5Y 8/2), sin transición entre albura y duramen	VETADO	Suave no acentuado	OLOR	No Distintivo	LUSTRE	Brillante				
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	OTRAS ESTRUCTURAS												
Indistintos o ausentes.	Poros visibles con aumento de 10X, predominantemente	No notorio con aumento de 20X	Visibles con aumento de 10X. Estratificación ausente.	Ausentes												

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL				
	Madera Tipo	M7	CARACTERIZACION MACROSCÓPICA	Formato	FCM MT-1
	Autor:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
	Fecha:	09-oct-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
	MADERA TIPO 1				
NOMBRE COMÚN		Juansoco, pendrade, perillo, lirio, surba, avichure			
SINONIMOS					
NOMBRE CIENTIFICO		Couma macrocarpa			
FOTOGRAFÍA PIEZA DE MADERA					
					
CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS					
COLOR	Albura de color blanco rosado (5YR 8/2) con transición gradual al				
VETADO	Líneas vasculares				
OLOR	No Distintivo				
LUSTRE	Brillante				
CARACTERÍSTICAS MACROSCOPICAS					
PLANO TRANSVERSAL GENERAL		PLANO TANGENCIAL		PLANO TRANSVERSAL DETALLE	
					
ANILLOS DE CRECIMIENTO	VASOS	PARENQUIMA AXIAL	PARENQUIMA RADIAL	OTRAS ESTRUCTURAS	
Indistintos o ausentes.	Visibles a simple vista, múltiples de 2-3 poros; difusa, orientación	Visible con aumento de 10X, de tipo paratraqueal difuso en agregados.	Visibles con aumento de 10X. Estratificación ausente.	Ausente	

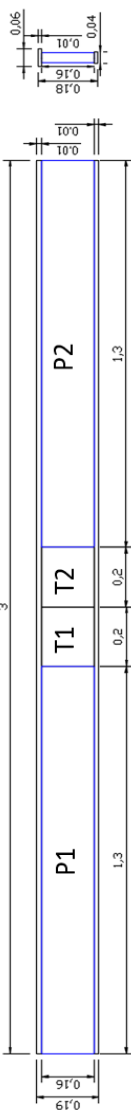
PROPIEDADES FISICAS	
DENSIDAD BASICA (g/cm3)	0.5
CONTRACCION RADIAL %	3.9
CONTRACCION TANGENCIAL %	6.4
CONTRACCION VOLUMETRICA %	10.4
RELACION CT/CR	1.6

PROPIEDADES MECANICAS	
MODULO DE RUPTURA kg/cm2	1180
MODULO DE ELASTICIDAD t/cm2	95
COMPRESION PARALELA kg/cm2	584
COMPRESION PERPENDICULAR kg/cm2	98
DUREZA EN LOS LADOS kg	461
TENACIDAD kg-m	0.98

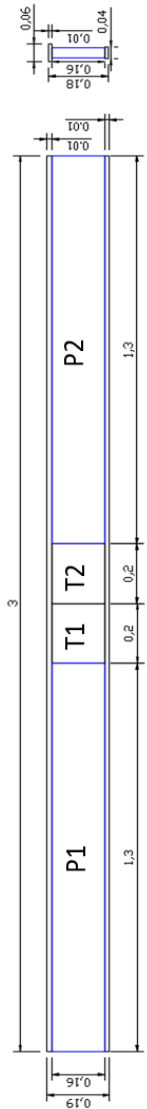
C. Anexo: Formato ensamble de vigas.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  ging Centro Investigaciones Madereras y Forestales  CIBAM COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL					Viga Tipo		G1A	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	Formato	FEDTM VT-1A
Autor:		Ing. Andrés Felipe Guerra		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 Guadua		Hs (cm)								
Ancho Guadua		Bs (cm)								
Largo Guadua		Ls (cm)								
Altura Reciclada		Hr (cm)								
Ancho Reciclada		Br (cm)								
Largo Reciclada		Lr (cm)								
Altura Unión		Hu (cm)								
Ancho Unión		Bu (cm)								
Largo Unión		Lu (cm)								
Altura Total		Ht (cm)								
Ancho Total		Bt (cm)								
Largo Total		Lt (cm)								
Adhesivo		MIUF								
Tipo Madera P1		Observaciones Generales:								
M1		Se presenta arista faltante en la madera reutilizada.								
Nombre Científico P1										
Otoba lehmanni										

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  GIMC Grupo Investigativo Madera y Guadua  CIRAM		COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL			
Viga Tipo	G2A	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera	Formato	FEDTM VT-2A	
Autor:	Ing. Andrés Felipe Guerra		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 Guadua	Hs (cm)	1			
Ancho Guadua	Bs (cm)	6			
Largo Guadua	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			
Adhesivo	MUF				
Tipo Madera P1		Tipo Madera P2			
M2	M4	Observaciones Generales:			
Nombre Científico P1	Nombre Científico P2				
Osteosplaoemumplatysper mum	Euca lyptus globulus Labill				

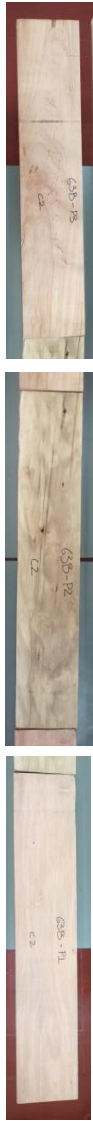
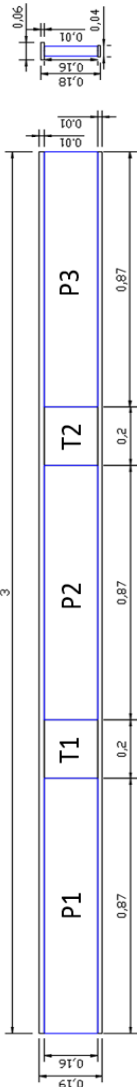


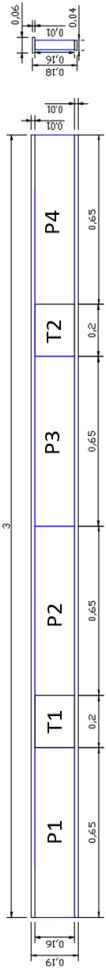
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA		COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL				
Viga Tipo		G2B	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera		Formato	FEDTM VT-2B
Autor:		Ing. Andrés Felipe Guerra		Director: Arq. Jorge Enrique Lozano		
Fecha:		07-nov-17	Maestría en Construcción		Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
Ensamble II						
Lista de Nomenclatura		Dimensión				
Altura Guadua	Hs (cm)	1				
Ancho Guadua	Bs (cm)	6				
Largo Guadua	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				
Adhesivo		MUF				
Tipo Madera P1		Tipo Madera P2				
M7		M5				
Nombre Científico P1		Nombre Científico P2				
Couma macrocarpa		Ocotea sp o Anibasp				
Observaciones Generales:						



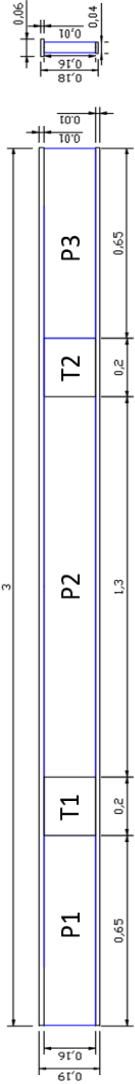
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA CIBAM GIING Centro Investigaciones Madereras y Celulosas		COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL					
		Viga Tipo	G3A	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera		Formato	FEDTM VT-3A
		Autor:	Ing. Andrés Felipe Guerra		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 Guadua	Hs (cm)	1					
Ancho Guadua	Bs (cm)	6					
Largo Guadua	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					
Adhesivo	MUF						
Tipo Madera P1		Tipo Madera P2		Tipo Madera P3		Observaciones Generales:	
M3		M8		M8			
Nombre Científico P1		Nombre Científico P2		Nombre Científico P3			
Aniba perutilis Hemsl		Billia rosea		Billia rosea			

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  GIMG Grupo Investigación Madera y Guadua  CIBAM COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL										Viga Tipo		G3B	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera		Formato	FEDTM VT-3B		
Autor:			Ing. Andrés Felipe Guerra			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 Guadua		Hs (cm)																
Ancho Guadua		Bs (cm)																
Largo Guadua		Ls (cm)																
Altura Reciclada		Hr (cm)																
Ancho Reciclada		Br (cm)																
Largo Reciclada		Lr (cm)																
Altura Unión		Hu (cm)																
Ancho Unión		Bu (cm)																
Largo Unión		Lu (cm)																
Altura Total		Ht (cm)																
Ancho Total		Bt (cm)																
Largo Total		Lt (cm)																
Adhesivo		MUF																
Tipo Madera P1		Tipo Madera P2		Tipo Madera P3		Observaciones Generales:												
M9		M7		M3														
Nombre Científico P1		Nombre Científico P2		Nombre Científico P3														
Lauraceae indeterminada		Couma macocarpa Barb		Aniba perutilis Hems!														



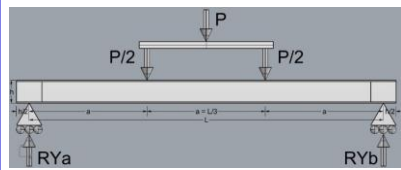
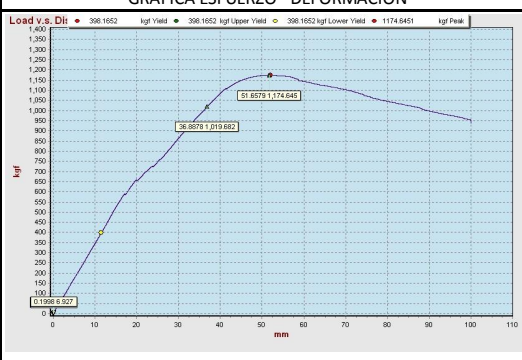
 UNIVERSIDAD DE COLOMBIA  Original Investigaciones Madera y Construcción  CIBAM		COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL					
Viga Tipo	G4B	Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera		Formato	FEDTM-VT-4B		
Autor:		Ing. Andrés Felipe Guerra		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 Guadua		Hs (cm)					
Ancho Guadua		Bs (cm)					
Largo Guadua		Ls (cm)					
Altura Reciclada		Hr (cm)					
Ancho Reciclada		Br (cm)					
Largo Reciclada		Lr (cm)					
Altura Unión		Hu (cm)					
Ancho Unión		Bu (cm)					
Largo Unión		Lu (cm)					
Altura Total		Ht (cm)					
Ancho Total		Bt (cm)					
Largo Total		Lt (cm)					
Adhesivo		MUJF					
							
		   					
Tipo Madera P1		Tipo Madera P2		Tipo Madera P3		Tipo Madera P4	
M8		M3		M3		M8	
Nombre Científico P1		Nombre Científico P2		Nombre Científico P3		Nombre Científico P4	
Billia rosea		Aniba perutilis HemsI		Aniba perutilis HemsI		Billia rosea	
Observaciones Generales:							

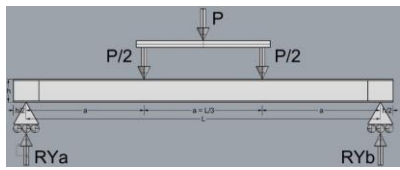
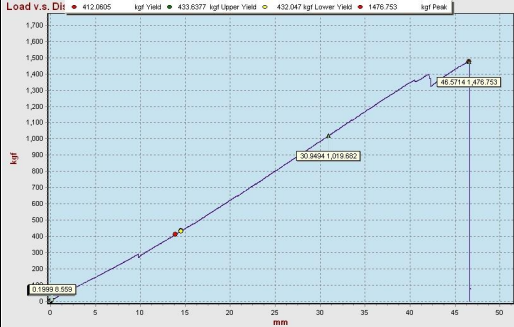
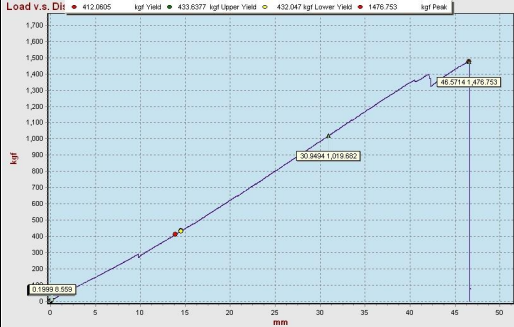
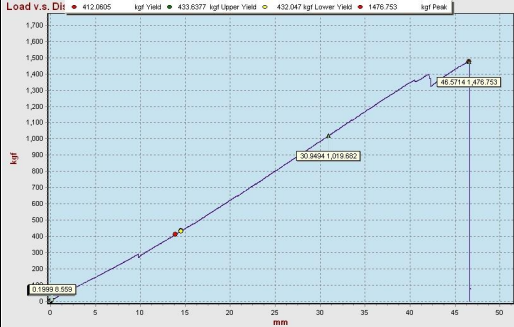
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  Grupo Investigación Madera y Guadua  CIBAM COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL										G5A		Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera		Formato		FEDTM VT-5A	
Autor:		Ing. Andrés Felipe Guerra			Director :		Arq. Jorge Enrique Lozano										
Fecha:		08-nov-17			Maestría en Construcción		Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá										
Ensamble V																	
Lista de Nomenclatura		Dimensión															
Altura Guadua		Hs (cm)															
Ancho Guadua		Bs (cm)															
Largo Guadua		Ls (cm)															
Altura Reciclada		Hr (cm)															
Ancho Reciclada		Br (cm)															
Largo Reciclada		Lr (cm)															
Altura Unión		Hu (cm)															
Ancho Unión		Bu (cm)															
Largo Unión		Lu (cm)															
Altura Total		Ht (cm)															
Ancho Total		Bt (cm)															
Largo Total		Lt (cm)															
Adhesivo		MUF															
Tipo Madera P1		Tipo Madera P2		Tipo Madera P3		Observaciones Generales:											
M8		M2		M1													
Nombre Científico P1		Nombre Científico P2		Nombre Científico P3													
Billia rosea		Osteosphloeum platyspermum		Otoba Lehmannii													

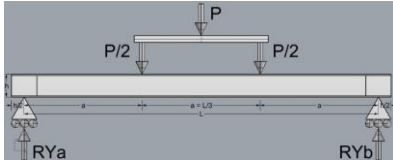


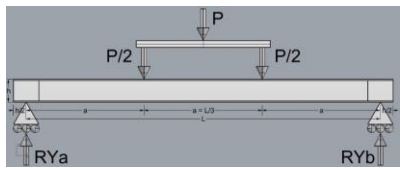
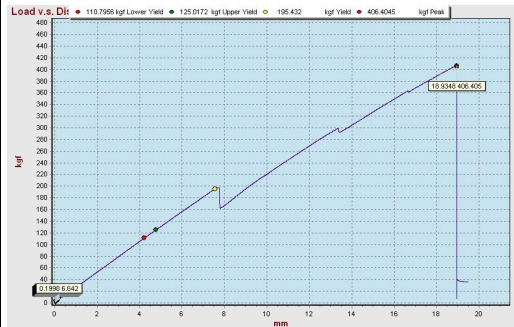
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA Grupo Investigación Madera y Construcción CIBAM		COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL											
		Viga Tipo		G6B		Formato de Ensamble, Dimensiones y Tipos de Madera				Formato		FEDTM VT-5B	
		Autor:		Ing. Andrés Felipe Guerra				Director :		Arq. Jorge Enrique Lozano			
		Fecha:		12-nov-17		Maestría en Construcción				Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá			
		Ensamble V											
Lista de Nomenclatura		Dimensión											
Altura Guadua		1											
Ancho Guadua		6											
Largo Guadua		300											
Altura Reciclada		16											
Ancho Reciclada		3.5											
Largo Reciclada		300											
Altura Unión		16											
Ancho Unión		1.9											
Largo Unión		5											
Altura Total		18											
Ancho Total		3.5											
Largo Total		300											
Adhesivo		MUF											
Tipo Madera P1		M3		Tipo Madera P2		M8		Tipo Madera P3		M4			
Nombre Científico P1		Aniba perutilis Hemsl		Nombre Científico P2		Billia rosea		Nombre Científico P3		Euca lyptus globulus Labill			
Observaciones Generales:													

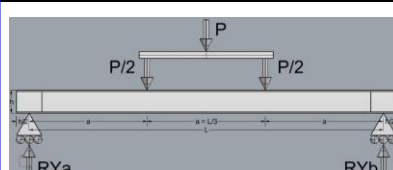
D. Anexo: Formato ensayo de flexión

	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL																						
	Viga Tipo	G1A	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																		
	Profesional:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano																		
	Fecha:	01-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																			
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO G1A																						
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS																			
				$S_F = \frac{m_{lp} * c}{I}$ $S_R = \frac{m * c}{I}$ $E = \frac{P a}{24 I \Delta} * (3L^2 - 2a^2)$																			
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN																			
	kgf	N	cm	mm																			
1	0	0.00	0	0																			
2	27.7	271.64	0.05	0.5																			
3	54.47	534.17	0.1	1																			
4	79.5	779.63	0.15	1.5																			
5	106.7	1046.37	0.2	2																			
6	133.1	1305.26	0.25	2.5																			
7	159.5	1564.15	0.3	3																			
8	184.6	1810.30	0.35	3.5																			
9	211.9	2078.02	0.4	4																			
10	237.4	2328.09	0.45	4.5																			
11	259.33	2543.15	0.5	5																			
12	282.2	2767.43	0.55	5.5																			
13	305.8	2998.86	0.6	6																			
14	327.4	3210.69	0.65	6.5																			
15	342.57	3359.45	0.7	7																			
16	364.8	3577.45	0.75	7.5																			
17	386.4	3789.28	0.8	8																			
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							
<table border="1"> <tr> <th colspan="4">Contenido de Humedad G1A</th> </tr> <tr> <td>T1</td> <td>P1</td> <td>T2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>13.6%</td> <td>16.4%</td> <td>14.4%</td> <td></td> </tr> </table>					Contenido de Humedad G1A				T1	P1	T2		13.6%	16.4%	14.4%								
Contenido de Humedad G1A																							
T1	P1	T2																					
13.6%	16.4%	14.4%																					
<table border="1"> <tr> <td>Ancho de la probeta (cm)</td> <td>Altura de la probeta (cm)</td> <td>Distancia de la reacción al punto de carga mas cercano (cm)</td> <td>Longitud de la probeta (cm)</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>h</td> <td>a</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>18</td> <td>94</td> <td>300</td> </tr> </table>		Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distancia de la reacción al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)	b	h	a	L	6	18	94	300	<table border="1"> <tr> <td>TIPO DE ADHESIVO</td> <td>MUF 1242</td> </tr> <tr> <td>PRESION DE PENSADO (kg/cm2)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE PENSADO</td> <td>18 HORAS</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE FRAGUADO</td> <td>6 DIAS</td> </tr> </table>		TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242	PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	10	TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS
Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distancia de la reacción al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)																				
b	h	a	L																				
6	18	94	300																				
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																						
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	10																						
TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS																						
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																						
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">MODULO DE RUPTURA</th> </tr> <tr> <td>Srt (kgf/cm²)</td> <td>640.59</td> </tr> <tr> <td>Srt (N/mm²)</td> <td>62.82</td> </tr> <tr> <th colspan="2">MODULO ELASTICO APARENTE</th> </tr> <tr> <td>E (kgf/cm²)</td> <td>269690.93</td> </tr> <tr> <td>E (N/mm²)</td> <td>26447.55</td> </tr> <tr> <th colspan="2">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</th> </tr> <tr> <td>Sft (kgf/cm²)</td> <td>599.88</td> </tr> <tr> <td>Sft (N/mm²)</td> <td>58.83</td> </tr> </table>				MODULO DE RUPTURA		Srt (kgf/cm ²)	640.59	Srt (N/mm ²)	62.82	MODULO ELASTICO APARENTE		E (kgf/cm ²)	269690.93	E (N/mm ²)	26447.55	ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)		Sft (kgf/cm ²)	599.88	Sft (N/mm ²)	58.83		
MODULO DE RUPTURA																							
Srt (kgf/cm ²)	640.59																						
Srt (N/mm ²)	62.82																						
MODULO ELASTICO APARENTE																							
E (kgf/cm ²)	269690.93																						
E (N/mm ²)	26447.55																						
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																							
Sft (kgf/cm ²)	599.88																						
Sft (N/mm ²)	58.83																						
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN</th> </tr> <tr> <td>Load vs. Dis</td> <td>308.1652</td> </tr> <tr> <td>kgf Yield</td> <td>308.1652</td> </tr> <tr> <td>kgf Upper Yield</td> <td>308.1652</td> </tr> <tr> <td>kgf Lower Yield</td> <td>1174.6451</td> </tr> <tr> <td>kgf Peak</td> <td>1174.6451</td> </tr> </table> 				GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN		Load vs. Dis	308.1652	kgf Yield	308.1652	kgf Upper Yield	308.1652	kgf Lower Yield	1174.6451	kgf Peak	1174.6451								
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN																							
Load vs. Dis	308.1652																						
kgf Yield	308.1652																						
kgf Upper Yield	308.1652																						
kgf Lower Yield	1174.6451																						
kgf Peak	1174.6451																						

	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL																																						
	Viga Tipo	G1B	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																																		
	Profesional:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director:	Arq. Jorge Enrique Lozano																																		
	Fecha:	01-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																			
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO G1B																																						
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS																																			
				$S_F = \frac{m_{ip} * c}{I}$ $S_R = \frac{m * c}{I}$ $E = \frac{P \Delta}{24 I \Delta} * (3L^2 - 2a^2)$																																			
LECTURA	CARGA kgf	CARGA N	DEFORMACIÓN cm	DEFORMACIÓN mm																																			
1	0	0.00	0	0																																			
2	31.2	305.97	0.05	0.5																																			
3	58.9	577.61	0.1	1																																			
4	112.7	1105.21	0.15	1.5																																			
5	138.6	1359.20	0.2	2																																			
6	162.3	1591.61	0.25	2.5																																			
7	187.5	1838.74	0.3	3																																			
8	212.2	2080.96	0.35	3.5																																			
9	236.8	2322.21	0.4	4																																			
10	260.8	2557.56	0.45	4.5																																			
11	260.8	2557.56	0.5	5																																			
12	275.03	2697.11	0.55	5.5																																			
13	294.9	2891.97	0.6	6																																			
14	317.6	3114.58	0.65	6.5																																			
15	339.4	3328.36	0.7	7																																			
16	359.7	3527.44	0.75	7.5																																			
17	382.9	3754.95	0.8	8																																			
18																																							
19																																							
20																																							
21																																							
22																																							
23																																							
24																																							
25																																							
26																																							
27																																							
28																																							
29																																							
30																																							
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">Contenido de Humedad G1B</th> </tr> <tr> <td>T 1</td> <td>P 1</td> <td>T 2</td> </tr> <tr> <td>12.7%</td> <td>11.9%</td> <td>14.0%</td> </tr> </table>					Contenido de Humedad G1B			T 1	P 1	T 2	12.7%	11.9%	14.0%																										
Contenido de Humedad G1B																																							
T 1	P 1	T 2																																					
12.7%	11.9%	14.0%																																					
<table border="1"> <tr> <td>Ancho de la probeta (cm)</td> <td>Altura de la probeta (cm)</td> <td>Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)</td> <td>Longitud de la probeta (cm)</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>h</td> <td>a</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>18</td> <td>94</td> <td>300</td> </tr> </table>		Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)	b	h	a	L	6	18	94	300	<table border="1"> <tr> <td>TIPO DE ADHESIVO</td> <td>MUF 1242</td> </tr> <tr> <td>PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE PRENSADO</td> <td>18 HORAS</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE FRAGUADO</td> <td>6 DIAS</td> </tr> </table>		TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242	PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	10	TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																
Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)																																				
b	h	a	L																																				
6	18	94	300																																				
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																																						
PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	10																																						
TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS																																						
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																						
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN</th> </tr> <tr> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>				GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN																																			
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN																																							
																																							
<table border="1"> <tr> <th colspan="4">MODULO DE RUPTURA</th> </tr> <tr> <td>Srt (kgf/cm²)</td> <td>805.34</td> <td>Src (kgf/cm²)</td> <td>646.18</td> </tr> <tr> <td>Srt (N/mm²)</td> <td>78.98</td> <td>Src (N/mm²)</td> <td>63.37</td> </tr> <tr> <th colspan="4">MODULO ELASTICO APARENTE</th> </tr> <tr> <td>E (kgf/cm²)</td> <td colspan="3">330368.11</td> </tr> <tr> <td>E (N/mm²)</td> <td colspan="3">32397.92</td> </tr> <tr> <th colspan="4">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</th> </tr> <tr> <td>Sft (kgf/cm²)</td> <td>763.49</td> <td>Sfc (kgf/cm²)</td> <td>612.59</td> </tr> <tr> <td>Sft (N/mm²)</td> <td>74.87</td> <td>Sfc (N/mm²)</td> <td>60.07</td> </tr> </table>				MODULO DE RUPTURA				Srt (kgf/cm²)	805.34	Src (kgf/cm²)	646.18	Srt (N/mm²)	78.98	Src (N/mm²)	63.37	MODULO ELASTICO APARENTE				E (kgf/cm²)	330368.11			E (N/mm²)	32397.92			ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)				Sft (kgf/cm²)	763.49	Sfc (kgf/cm²)	612.59	Sft (N/mm²)	74.87	Sfc (N/mm²)	60.07
MODULO DE RUPTURA																																							
Srt (kgf/cm²)	805.34	Src (kgf/cm²)	646.18																																				
Srt (N/mm²)	78.98	Src (N/mm²)	63.37																																				
MODULO ELASTICO APARENTE																																							
E (kgf/cm²)	330368.11																																						
E (N/mm²)	32397.92																																						
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																																							
Sft (kgf/cm²)	763.49	Sfc (kgf/cm²)	612.59																																				
Sft (N/mm²)	74.87	Sfc (N/mm²)	60.07																																				

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL																																							
	Viga Tipo	G2A	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																																			
	Profesional:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano																																			
	Fecha:	01-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																				
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO G2A																																							
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS																																				
				$S_F = \frac{m_{ip} * c}{I}$ $S_R = \frac{m * c}{I}$ $E = \frac{P a}{24 I \Delta} * (3L^2 - 2a^2)$																																				
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN																																				
	kgf	N	cm	mm																																				
1	0	0.00	0	0																																				
2	21.6	211.82	0.05	0.5																																				
3	40.4	396.19	0.1	1																																				
4	57.67	565.55	0.15	1.5																																				
5	75.87	744.03	0.2	2																																				
6	92.8	910.05	0.25	2.5																																				
7	110.4	1082.65	0.3	3																																				
8	127.8	1253.29	0.35	3.5																																				
9	143.9	1411.17	0.4	4																																				
10																																								
11																																								
12																																								
13																																								
14																																								
15																																								
16																																								
17																																								
18																																								
19																																								
20																																								
21																																								
22																																								
23																																								
24																																								
25																																								
26																																								
27																																								
28																																								
29																																								
30																																								
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Contenido de Humedad G2A</td> </tr> <tr> <td>Pi 1</td> <td>Pi 2</td> </tr> <tr> <td>13.2%</td> <td>12.9%</td> </tr> </table>					Contenido de Humedad G2A		Pi 1	Pi 2	13.2%	12.9%																														
Contenido de Humedad G2A																																								
Pi 1	Pi 2																																							
13.2%	12.9%																																							
<table border="1"> <tr> <td>Ancho de la probeta (cm)</td> <td>Altura de la probeta (cm)</td> <td>Distancia de la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)</td> <td>Longitud de la probeta (cm)</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>h</td> <td>a</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>18</td> <td>94</td> <td>300</td> </tr> </table>					Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distancia de la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)	b	h	a	L	6	18	94	300																								
Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distancia de la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)																																					
b	h	a	L																																					
6	18	94	300																																					
<table border="1"> <tr> <td>TIPO DE ADHESIVO</td> <td>MUF 1242</td> </tr> <tr> <td>PRESION DE PENSADO (kg/cm2)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE PENSADO</td> <td>18 HORAS</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE FRAGUADO</td> <td>6 DIAS</td> </tr> </table>					TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242	PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	10	TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																												
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																																							
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	10																																							
TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS																																							
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																							
<table border="1"> <tr> <td colspan="4">MODULO DE RUPTURA</td> </tr> <tr> <td>Srt (kgf/cm²)</td> <td>342.31</td> <td>Src (kgf/cm²)</td> <td>248.58</td> </tr> <tr> <td>Srt (N/mm²)</td> <td>33.57</td> <td>Src (N/mm²)</td> <td>24.38</td> </tr> <tr> <td colspan="4">MODULO ELASTICO APARENTE</td> </tr> <tr> <td>E (kgf/cm²)</td> <td colspan="3">322067.22</td> </tr> <tr> <td>E (N/mm²)</td> <td colspan="3">31583.89</td> </tr> <tr> <td colspan="4">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</td> </tr> <tr> <td>Sft (kgf/cm²)</td> <td>291.51</td> <td>Sfc (kgf/cm²)</td> <td>211.69</td> </tr> <tr> <td>Sft (N/mm²)</td> <td>28.59</td> <td>Sfc (N/mm²)</td> <td>20.76</td> </tr> </table>					MODULO DE RUPTURA				Srt (kgf/cm ²)	342.31	Src (kgf/cm ²)	248.58	Srt (N/mm ²)	33.57	Src (N/mm ²)	24.38	MODULO ELASTICO APARENTE				E (kgf/cm ²)	322067.22			E (N/mm ²)	31583.89			ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)				Sft (kgf/cm ²)	291.51	Sfc (kgf/cm ²)	211.69	Sft (N/mm ²)	28.59	Sfc (N/mm ²)	20.76
MODULO DE RUPTURA																																								
Srt (kgf/cm ²)	342.31	Src (kgf/cm ²)	248.58																																					
Srt (N/mm ²)	33.57	Src (N/mm ²)	24.38																																					
MODULO ELASTICO APARENTE																																								
E (kgf/cm ²)	322067.22																																							
E (N/mm ²)	31583.89																																							
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																																								
Sft (kgf/cm ²)	291.51	Sfc (kgf/cm ²)	211.69																																					
Sft (N/mm ²)	28.59	Sfc (N/mm ²)	20.76																																					
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN</td> </tr> <tr> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>					GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN																																			
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN																																								
																																								

	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL																																																																																																																																																																																				
	Viga Tipo	G2B	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																																																																																																																																																																																
	Profesional:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director:	Arq. Jorge Enrique Lozano																																																																																																																																																																																
	Fecha:	01-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																																																																																																																																																																	
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO G2B																																																																																																																																																																																				
ESQUEMA DEL ENSAYO 		FOTOGRAFIA ENSAYO 		FORMULAS UTILIZADAS $S_F = \frac{m_{ip} * c}{I}$ $S_R = \frac{m * c}{I}$ $E = \frac{P a}{247 \Delta} * (3L^2 - 2a^2)$																																																																																																																																																																																	
LECTURA <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>CARGA</th> <th>CARGA</th> <th>DEFORMACIÓN</th> <th>DEFORMACIÓN</th> </tr> <tr> <th></th> <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>16.9</td><td>165.73</td><td>0.05</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>3</td><td>32.73</td><td>320.97</td><td>0.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>47.8</td><td>468.76</td><td>0.15</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>61.6</td><td>604.09</td><td>0.2</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>77.4</td><td>759.03</td><td>0.25</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>92</td><td>902.21</td><td>0.3</td><td>3</td></tr> <tr><td>8</td><td>106.67</td><td>1046.07</td><td>0.35</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>9</td><td>120.87</td><td>1185.33</td><td>0.4</td><td>4</td></tr> <tr><td>10</td><td>134.73</td><td>1321.25</td><td>0.45</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>11</td><td>149.27</td><td>1463.83</td><td>0.5</td><td>5</td></tr> <tr><td>12</td><td>162.98</td><td>1598.28</td><td>0.55</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>13</td><td>176.6</td><td>1731.85</td><td>0.6</td><td>6</td></tr> <tr><td>14</td><td>189.6</td><td>1859.33</td><td>0.65</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>15</td><td>197.83</td><td>1940.04</td><td>0.7</td><td>7</td></tr> <tr><td>16</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td><td></td><td></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>		CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN		kgf	N	cm	mm	1	0	0.00	0	0	2	16.9	165.73	0.05	0.5	3	32.73	320.97	0.1	1	4	47.8	468.76	0.15	1.5	5	61.6	604.09	0.2	2	6	77.4	759.03	0.25	2.5	7	92	902.21	0.3	3	8	106.67	1046.07	0.35	3.5	9	120.87	1185.33	0.4	4	10	134.73	1321.25	0.45	4.5	11	149.27	1463.83	0.5	5	12	162.98	1598.28	0.55	5.5	13	176.6	1731.85	0.6	6	14	189.6	1859.33	0.65	6.5	15	197.83	1940.04	0.7	7	16					17					18					19					20					21					22					23					24					25					26					27					28					29					30					<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ancho de la probeta (cm)</th> <th>Altura de la probeta (cm)</th> <th>Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)</th> <th>Longitud de la probeta (cm)</th> </tr> <tr> <th>b</th> <th>h</th> <th>a</th> <th>L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6</td> <td>18</td> <td>94</td> <td>300</td> </tr> </tbody> </table> <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>10</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> GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN 	Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)	b	h	a	L	6	18	94	300	TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242	PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	10	TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS
		CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN																																																																																																																																																																																
		kgf	N	cm	mm																																																																																																																																																																																
	1	0	0.00	0	0																																																																																																																																																																																
	2	16.9	165.73	0.05	0.5																																																																																																																																																																																
	3	32.73	320.97	0.1	1																																																																																																																																																																																
	4	47.8	468.76	0.15	1.5																																																																																																																																																																																
	5	61.6	604.09	0.2	2																																																																																																																																																																																
	6	77.4	759.03	0.25	2.5																																																																																																																																																																																
	7	92	902.21	0.3	3																																																																																																																																																																																
	8	106.67	1046.07	0.35	3.5																																																																																																																																																																																
	9	120.87	1185.33	0.4	4																																																																																																																																																																																
	10	134.73	1321.25	0.45	4.5																																																																																																																																																																																
	11	149.27	1463.83	0.5	5																																																																																																																																																																																
	12	162.98	1598.28	0.55	5.5																																																																																																																																																																																
	13	176.6	1731.85	0.6	6																																																																																																																																																																																
	14	189.6	1859.33	0.65	6.5																																																																																																																																																																																
	15	197.83	1940.04	0.7	7																																																																																																																																																																																
	16																																																																																																																																																																																				
	17																																																																																																																																																																																				
	18																																																																																																																																																																																				
	19																																																																																																																																																																																				
	20																																																																																																																																																																																				
	21																																																																																																																																																																																				
	22																																																																																																																																																																																				
	23																																																																																																																																																																																				
	24																																																																																																																																																																																				
	25																																																																																																																																																																																				
	26																																																																																																																																																																																				
	27																																																																																																																																																																																				
28																																																																																																																																																																																					
29																																																																																																																																																																																					
30																																																																																																																																																																																					
Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)																																																																																																																																																																																		
b	h	a	L																																																																																																																																																																																		
6	18	94	300																																																																																																																																																																																		
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																																																																																																																																																																																				
PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	10																																																																																																																																																																																				
TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS																																																																																																																																																																																				
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">MODULO DE RUPTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Srt (kgf/cm²)</td> <td>281.37</td> <td>Src (kgf/cm²)</td> <td>198.42</td> </tr> <tr> <td>Srt (N/mm²)</td> <td>27.59</td> <td>Src (N/mm²)</td> <td>19.46</td> </tr> <tr> <th colspan="4">MODULO ELASTICO APARENTE</th> </tr> <tr> <td>E (kgf/cm²)</td> <td colspan="3">322019.81</td> </tr> <tr> <td>E (N/mm²)</td> <td colspan="3">31579.24</td> </tr> <tr> <th colspan="4">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</th> </tr> <tr> <td>Sft (kgf/cm²)</td> <td>135.28</td> <td>Sfc (kgf/cm²)</td> <td>95.40</td> </tr> <tr> <td>Sft (N/mm²)</td> <td>13.27</td> <td>Sfc (N/mm²)</td> <td>9.36</td> </tr> </tbody> </table>					MODULO DE RUPTURA				Srt (kgf/cm²)	281.37	Src (kgf/cm²)	198.42	Srt (N/mm²)	27.59	Src (N/mm²)	19.46	MODULO ELASTICO APARENTE				E (kgf/cm²)	322019.81			E (N/mm²)	31579.24			ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)				Sft (kgf/cm²)	135.28	Sfc (kgf/cm²)	95.40	Sft (N/mm²)	13.27	Sfc (N/mm²)	9.36																																																																																																																																													
MODULO DE RUPTURA																																																																																																																																																																																					
Srt (kgf/cm²)	281.37	Src (kgf/cm²)	198.42																																																																																																																																																																																		
Srt (N/mm²)	27.59	Src (N/mm²)	19.46																																																																																																																																																																																		
MODULO ELASTICO APARENTE																																																																																																																																																																																					
E (kgf/cm²)	322019.81																																																																																																																																																																																				
E (N/mm²)	31579.24																																																																																																																																																																																				
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																																																																																																																																																																																					
Sft (kgf/cm²)	135.28	Sfc (kgf/cm²)	95.40																																																																																																																																																																																		
Sft (N/mm²)	13.27	Sfc (N/mm²)	9.36																																																																																																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Contenido de Humedad G2B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P11</td> <td>T 2</td> <td>T2</td> <td>P 2</td> </tr> <tr> <td>14.6%</td> <td>15.2%</td> <td>13.1%</td> <td>12.9%</td> </tr> </tbody> </table>					Contenido de Humedad G2B				P11	T 2	T2	P 2	14.6%	15.2%	13.1%	12.9%																																																																																																																																																																					
Contenido de Humedad G2B																																																																																																																																																																																					
P11	T 2	T2	P 2																																																																																																																																																																																		
14.6%	15.2%	13.1%	12.9%																																																																																																																																																																																		

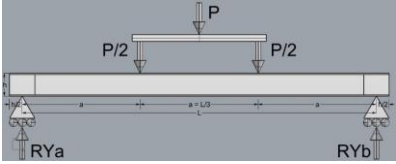
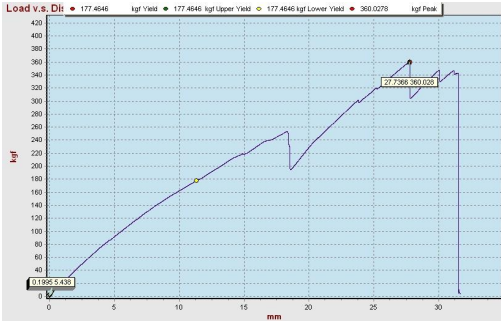
	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL				
	Viga Tipo	G3A	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A
	Profesional:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
	Fecha:	02-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO G3A				
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS	
				$S_F = \frac{m_{ip} * c}{I}$ $S_R = \frac{m * c}{I}$ $E = \frac{Pa}{247 \Delta} * (3L^2 - 2a^2)$	
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	
	kgf	N	cm	mm	
1	0	0.00	0	0	
2	17.8	174.56	0.05	0.5	
3	34.8	341.27	0.1	1	
4	53.4	523.67	0.15	1.5	
5	70	686.46	0.2	2	
6	88.07	863.67	0.25	2.5	
7	105.8	1037.54	0.3	3	
8	123.03	1206.51	0.35	3.5	
9	140	1372.93	0.4	4	
10	155.87	1528.56	0.45	4.5	
11	171.73	1684.09	0.5	5	
12	186	1824.03	0.55	5.5	
13	202.5	1985.84	0.6	6	
14	217.33	2131.27	0.65	6.5	
15	231.87	2273.86	0.7	7	
16	234.37	2298.38	0.75	7.5	
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
Contenido de Humedad G3A					
P 1	T1	P2	T 2	P3	
14.9%	11.1%	13.6%	15.4%	13.9%	

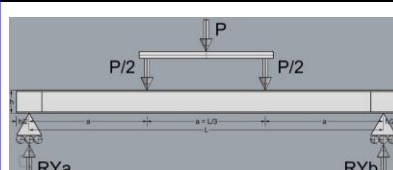
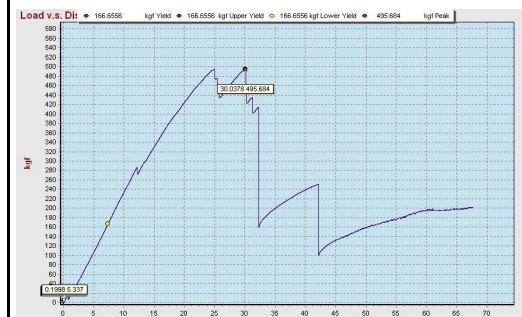
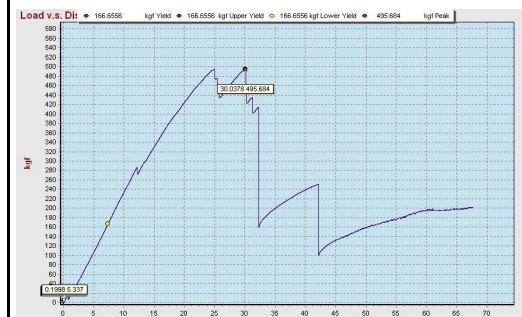
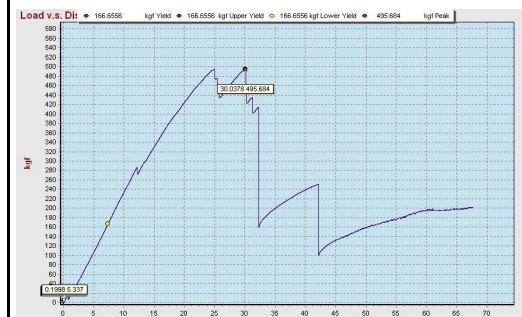
Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distancia de la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)
b	h	a	L
6	18	94	300

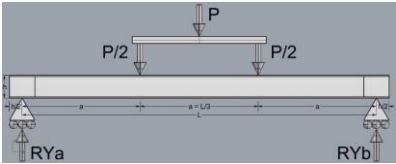
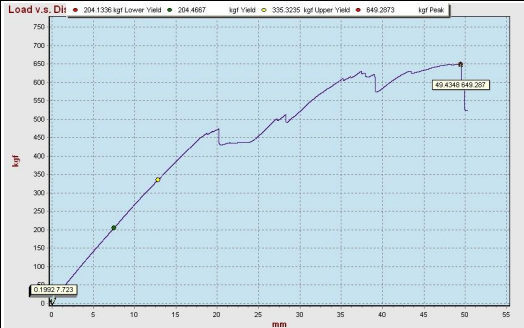
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	10
TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS

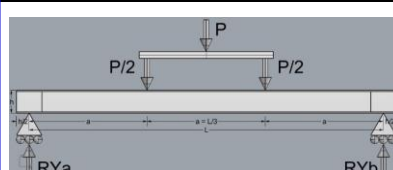
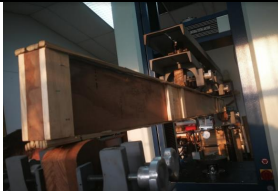
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN	
	

MODULO DE RUPTURA			
Srt (kgf/cm²)	163.09	Src (kgf/cm²)	116.48
Srt (N/mm²)	15.99	Src (N/mm²)	11.42
MODULO ELASTICO APARENTE			
E (kgf/cm²)	362103.92		
E (N/mm²)	35510.13		
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)			
Sft (kgf/cm²)	163.09	Sfc (kgf/cm²)	116.48
Sft (N/mm²)	15.99	Sfc (N/mm²)	11.42

	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL																																																																																																																																																																											
	Viga Tipo	G3B	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																																																																																																																																																																							
	Profesional:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director:	Arq. Jorge Enrique Lozano																																																																																																																																																																							
	Fecha:	02-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																																																																																																																																																								
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO G3B																																																																																																																																																																											
ESQUEMA DEL ENSAYO 		FOTOGRAFIA ENSAYO 		FORMULAS UTILIZADAS $S_F = \frac{m_{ip} * c}{I}$ $S_R = \frac{m * c}{I}$ $E = \frac{Pa}{24I\Delta} * (3L^2 - 2a^2)$																																																																																																																																																																								
<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>30.6</td><td>300.08</td><td>0.05</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>3</td><td>44.07</td><td>432.18</td><td>0.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>57.75</td><td>566.33</td><td>0.15</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>60.93</td><td>597.52</td><td>0.2</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>79.87</td><td>783.25</td><td>0.25</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>88.4</td><td>866.90</td><td>0.3</td><td>3</td></tr> <tr><td>8</td><td>99.07</td><td>971.54</td><td>0.35</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>9</td><td>109.73</td><td>1076.08</td><td>0.4</td><td>4</td></tr> <tr><td>10</td><td>119.6</td><td>1172.87</td><td>0.45</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>11</td><td>129.6</td><td>1270.94</td><td>0.5</td><td>5</td></tr> <tr><td>12</td><td>139.27</td><td>1365.77</td><td>0.55</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>13</td><td>146.93</td><td>1440.89</td><td>0.6</td><td>6</td></tr> <tr><td>14</td><td>155.73</td><td>1527.18</td><td>0.65</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>15</td><td>163.2</td><td>1600.44</td><td>0.7</td><td>7</td></tr> <tr><td>16</td><td>170.8</td><td>1674.97</td><td>0.75</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>17</td><td>177.93</td><td>1744.89</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	30.6	300.08	0.05	0.5	3	44.07	432.18	0.1	1	4	57.75	566.33	0.15	1.5	5	60.93	597.52	0.2	2	6	79.87	783.25	0.25	2.5	7	88.4	866.90	0.3	3	8	99.07	971.54	0.35	3.5	9	109.73	1076.08	0.4	4	10	119.6	1172.87	0.45	4.5	11	129.6	1270.94	0.5	5	12	139.27	1365.77	0.55	5.5	13	146.93	1440.89	0.6	6	14	155.73	1527.18	0.65	6.5	15	163.2	1600.44	0.7	7	16	170.8	1674.97	0.75	7.5	17	177.93	1744.89	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 (cm)</th> <th>Altura de la probeta (cm)</th> <th>Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)</th> <th>Longitud de la probeta (cm)</th> </tr> <tr> <th>b</th> <th>h</th> <th>a</th> <th>L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6</td> <td>18</td> <td>94</td> <td>300</td> </tr> </tbody> </table>	Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)	b	h	a	L	6	18	94	300
		LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN																																																																																																																																																																						
	kgf		N	cm	mm																																																																																																																																																																							
	1	0	0.00	0	0																																																																																																																																																																							
	2	30.6	300.08	0.05	0.5																																																																																																																																																																							
	3	44.07	432.18	0.1	1																																																																																																																																																																							
	4	57.75	566.33	0.15	1.5																																																																																																																																																																							
	5	60.93	597.52	0.2	2																																																																																																																																																																							
	6	79.87	783.25	0.25	2.5																																																																																																																																																																							
	7	88.4	866.90	0.3	3																																																																																																																																																																							
	8	99.07	971.54	0.35	3.5																																																																																																																																																																							
	9	109.73	1076.08	0.4	4																																																																																																																																																																							
	10	119.6	1172.87	0.45	4.5																																																																																																																																																																							
	11	129.6	1270.94	0.5	5																																																																																																																																																																							
	12	139.27	1365.77	0.55	5.5																																																																																																																																																																							
	13	146.93	1440.89	0.6	6																																																																																																																																																																							
	14	155.73	1527.18	0.65	6.5																																																																																																																																																																							
	15	163.2	1600.44	0.7	7																																																																																																																																																																							
	16	170.8	1674.97	0.75	7.5																																																																																																																																																																							
	17	177.93	1744.89	0.8	8																																																																																																																																																																							
	18																																																																																																																																																																											
	19																																																																																																																																																																											
	20																																																																																																																																																																											
	21																																																																																																																																																																											
	22																																																																																																																																																																											
	23																																																																																																																																																																											
	24																																																																																																																																																																											
	25																																																																																																																																																																											
	26																																																																																																																																																																											
	27																																																																																																																																																																											
28																																																																																																																																																																												
29																																																																																																																																																																												
30																																																																																																																																																																												
Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)																																																																																																																																																																									
b	h	a	L																																																																																																																																																																									
6	18	94	300																																																																																																																																																																									
		<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>10</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)	10	TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																	
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																																																																																																																																																																											
PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	10																																																																																																																																																																											
TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS																																																																																																																																																																											
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																											
		GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN 																																																																																																																																																																										
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">MODULO DE RUPTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Srt (kgf/cm²)</td> <td>254.59</td> <td>Src (kgf/cm²)</td> <td>176.83</td> </tr> <tr> <td>Srt (N/mm²)</td> <td>24.97</td> <td>Src (N/mm²)</td> <td>17.34</td> </tr> <tr> <th colspan="4">MODULO ELASTICO APARENTE</th> </tr> <tr> <td>E (kgf/cm²)</td> <td colspan="3">188170.53</td> </tr> <tr> <td>E (N/mm²)</td> <td colspan="3">18453.16</td> </tr> <tr> <th colspan="4">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</th> </tr> <tr> <td>Sft (kgf/cm²)</td> <td>177.27</td> <td>Sfc (kgf/cm²)</td> <td>123.13</td> </tr> <tr> <td>Sft (N/mm²)</td> <td>17.38</td> <td>Sfc (N/mm²)</td> <td>12.07</td> </tr> </tbody> </table>		MODULO DE RUPTURA				Srt (kgf/cm ²)	254.59	Src (kgf/cm ²)	176.83	Srt (N/mm ²)	24.97	Src (N/mm ²)	17.34	MODULO ELASTICO APARENTE				E (kgf/cm ²)	188170.53			E (N/mm ²)	18453.16			ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)				Sft (kgf/cm ²)	177.27	Sfc (kgf/cm ²)	123.13	Sft (N/mm ²)	17.38	Sfc (N/mm ²)	12.07																																																																																																																																					
MODULO DE RUPTURA																																																																																																																																																																												
Srt (kgf/cm ²)	254.59	Src (kgf/cm ²)	176.83																																																																																																																																																																									
Srt (N/mm ²)	24.97	Src (N/mm ²)	17.34																																																																																																																																																																									
MODULO ELASTICO APARENTE																																																																																																																																																																												
E (kgf/cm ²)	188170.53																																																																																																																																																																											
E (N/mm ²)	18453.16																																																																																																																																																																											
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																																																																																																																																																																												
Sft (kgf/cm ²)	177.27	Sfc (kgf/cm ²)	123.13																																																																																																																																																																									
Sft (N/mm ²)	17.38	Sfc (N/mm ²)	12.07																																																																																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Contenido de Humedad G3B</th> </tr> <tr> <th>P1</th> <th>T1</th> <th>P2</th> <th>T2</th> <th>P3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12%</td> <td>12.8%</td> <td>16.3%</td> <td>16.1%</td> <td>17.4%</td> </tr> </tbody> </table>					Contenido de Humedad G3B					P1	T1	P2	T2	P3	12%	12.8%	16.3%	16.1%	17.4%																																																																																																																																																									
Contenido de Humedad G3B																																																																																																																																																																												
P1	T1	P2	T2	P3																																																																																																																																																																								
12%	12.8%	16.3%	16.1%	17.4%																																																																																																																																																																								

	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL																							
	Viga Tipo	G4A	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																			
	Profesional:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano																			
	Fecha:	02-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																				
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO G4A																							
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS																				
				$S_F = \frac{m_{ip} * c}{I}$ $S_R = \frac{m * c}{I}$ $E = \frac{Pa}{24I\Delta} * (3L^2 - 2a^2)$																				
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN																				
	kgf	N	cm	mm																				
1	0	0.00	0	0																				
2	33.47	328.23	0.05	0.5																				
3	50.5	495.23	0.1	1																				
4	66.6	653.12	0.15	1.5																				
5	81.93	803.46	0.2	2																				
6	97.53	956.44	0.25	2.5																				
7	114.6	1123.84	0.3	3																				
8	130.07	1275.55	0.35	3.5																				
9	147.4	1445.49	0.4	4																				
10	164.8	1616.13	0.45	4.5																				
11	181.3	1777.94	0.5	5																				
12	198.33	1944.95	0.55	5.5																				
13	215.13	2109.70	0.6	6																				
14	232.4	2279.06	0.65	6.5																				
15	248.4	2435.96	0.7	7																				
16	264.57	2594.54	0.75	7.5																				
17	279.2	2738.01	0.8	8																				
18																								
19																								
20																								
21																								
22																								
23																								
24																								
25																								
26																								
27																								
28																								
<table border="1"> <tr> <th colspan="4">Contenido de Humedad G4A</th> </tr> <tr> <td>P1</td> <td>T 1</td> <td>P2</td> <td>P 3</td> </tr> <tr> <td>16.5%</td> <td>14.9%</td> <td>13.1%</td> <td>13.3%</td> </tr> <tr> <td>Tapa 2</td> <td>Pieza 4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16.1%</td> <td>15.3%</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Contenido de Humedad G4A				P1	T 1	P2	P 3	16.5%	14.9%	13.1%	13.3%	Tapa 2	Pieza 4			16.1%	15.3%		
Contenido de Humedad G4A																								
P1	T 1	P2	P 3																					
16.5%	14.9%	13.1%	13.3%																					
Tapa 2	Pieza 4																							
16.1%	15.3%																							
<table border="1"> <tr> <td>Ancho de la probeta (cm)</td> <td>Altura de la probeta (cm)</td> <td>Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)</td> <td>Longitud de la probeta (cm)</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>h</td> <td>a</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>18</td> <td>94</td> <td>300</td> </tr> </table>		Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)	b	h	a	L	6	18	94	300	<table border="1"> <tr> <td>TIPO DE ADHESIVO</td> <td>MUF 1242</td> </tr> <tr> <td>PRESION DE PENSADO (kg/cm2)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE PENSADO</td> <td>18 HORAS</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE FRAGUADO</td> <td>6 DIAS</td> </tr> </table>		TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242	PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	10	TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS	
Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)																					
b	h	a	L																					
6	18	94	300																					
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																							
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	10																							
TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS																							
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																							
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">MODULO DE RUPTURA</th> </tr> <tr> <td>Srt (kgf/cm²)</td> <td>326.77</td> </tr> <tr> <td>Srt (N/mm²)</td> <td>32.05</td> </tr> <tr> <th colspan="2">MODULO ELASTICO APARENTE</th> </tr> <tr> <td>E (kgf/cm²)</td> <td>202537.15</td> </tr> <tr> <td>E (N/mm²)</td> <td>19862.04</td> </tr> <tr> <th colspan="2">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</th> </tr> <tr> <td>Sft (kgf/cm²)</td> <td>326.77</td> </tr> <tr> <td>Sft (N/mm²)</td> <td>32.05</td> </tr> </table>					MODULO DE RUPTURA		Srt (kgf/cm ²)	326.77	Srt (N/mm ²)	32.05	MODULO ELASTICO APARENTE		E (kgf/cm ²)	202537.15	E (N/mm ²)	19862.04	ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)		Sft (kgf/cm ²)	326.77	Sft (N/mm ²)	32.05		
MODULO DE RUPTURA																								
Srt (kgf/cm ²)	326.77																							
Srt (N/mm ²)	32.05																							
MODULO ELASTICO APARENTE																								
E (kgf/cm ²)	202537.15																							
E (N/mm ²)	19862.04																							
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																								
Sft (kgf/cm ²)	326.77																							
Sft (N/mm ²)	32.05																							
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN</th> </tr> <tr> <td>Load vs. Dis</td> <td>kgf Yield • 168.6556 kgf Upper Yield • 168.6556 kgf Lower Yield • 495.684 kgf Peak</td> </tr> <tr> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>					GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN		Load vs. Dis	kgf Yield • 168.6556 kgf Upper Yield • 168.6556 kgf Lower Yield • 495.684 kgf Peak																
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN																								
Load vs. Dis	kgf Yield • 168.6556 kgf Upper Yield • 168.6556 kgf Lower Yield • 495.684 kgf Peak																							
																								

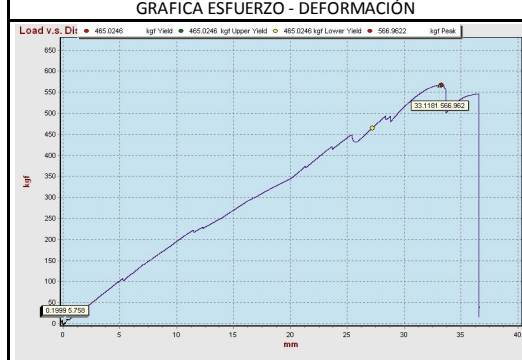
	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL				
	Viga Tipo	G4B	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A
	Profesional:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director:	Arq. Jorge Enrique Lozano
	Fecha:	02-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO G4B				
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS	
				$S_F = \frac{m_{ip} * c}{I}$ $S_R = \frac{m * c}{I}$ $E = \frac{P a}{247 \Delta} * (3L^2 - 2a^2)$	
LECTURA	CARGA kgf	CARGA N	DEFORMACIÓN cm	DEFORMACIÓN mm	
1	0	0.00	0	0	
2	20.8	203.98	0.05	0.5	
3	40.4	396.19	0.1	1	
4	58.73	575.94	0.15	1.5	
5	79.87	783.25	0.2	2	
6	95.93	940.75	0.25	2.5	
7	113.2	1110.11	0.3	3	
8	129.8	1272.90	0.35	3.5	
9	145.67	1428.53	0.4	4	
10	162.4	1592.59	0.45	4.5	
11	178.8	1753.42	0.5	5	
12	194.5	1907.39	0.55	5.5	
13	211.4	2073.12	0.6	6	
14	226.8	2224.14	0.65	6.5	
15	242.8	2381.05	0.7	7	
16	258.5	2535.01	0.75	7.5	
17	273.6	2683.09	0.8	8	
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
Contenido de Humedad G4B					
P1	T 1	P2	P 3		
14.7%	13.8%	14.6%	14.9%		
T 2	P4				
13.5%	14.0%				
Ancho de la probeta (cm)		Altura de la probeta (cm)	Distancia de la reacción al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)	
b		h	a	L	
6		18	94	300	
TIPO DE ADHESIVO		MUF 1242			
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)		10			
TIEMPO DE PENSADO		18 HORAS			
TIEMPO DE FRAGUADO		6 DIAS			
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN					
					
MODULO DE RUPTURA					
Srt (kgf/cm ²)	431.24	Src (kgf/cm ²)	312.66		
Srt (N/mm ²)	42.29	Src (N/mm ²)	30.66		
MODULO ELASTICO APARENTE					
E (kgf/cm ²)	216222.90				
E (N/mm ²)	21204.14				
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)					
Sft (kgf/cm ²)	333.06	Sfc (kgf/cm ²)	241.47		
Sft (N/mm ²)	32.66	Sfc (N/mm ²)	23.68		

	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL			
	Viga Tipo	G5A	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato FEF VT-1A
	Profesional:	Ing. Andrés Felipe Guerra	Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
	Fecha:	03-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO G5A			
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS
				$S_F = \frac{m_{ip} * c}{I}$ $S_R = \frac{m * c}{I}$ $E = \frac{Pa}{24I\Delta} * (3L^2 - 2a^2)$
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN
	kgf	N	cm	mm
1	0	0.00	0	0
2	26.6	260.86	0.05	0.5
3	51.73	507.30	0.1	1
4	74.07	726.38	0.15	1.5
5	93.67	918.59	0.2	2
6	109.73	1076.08	0.25	2.5
7	132	1294.47	0.3	3
8	152.92	1499.63	0.35	3.5
9	171.73	1684.09	0.4	4
10	187.73	1841.00	0.45	4.5
11	204.23	2002.80	0.5	5
12	218.4	2141.76	0.55	5.5
13	227.33	2229.34	0.6	6
14	244.13	2394.09	0.65	6.5
15	261.07	2560.21	0.7	7
16	274.8	2694.86	0.75	7.5
17	287.53	2819.70	0.8	8
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
Contenido de Humedad G5A				
Pieza 1	Tapa 1	P 2	T2	P 3
13.7%	15.3%	11.0%	13.9%	15.8%

Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distancia de la reacción al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)
b	h	a	L
6	18	94	300

TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	10
TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS

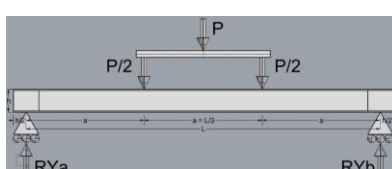
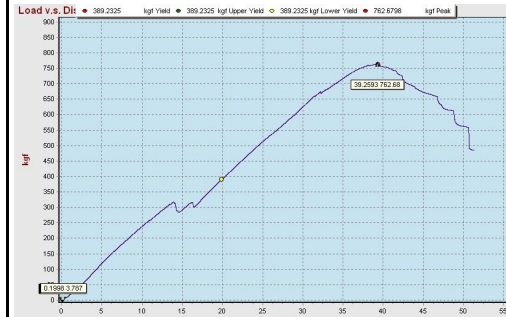
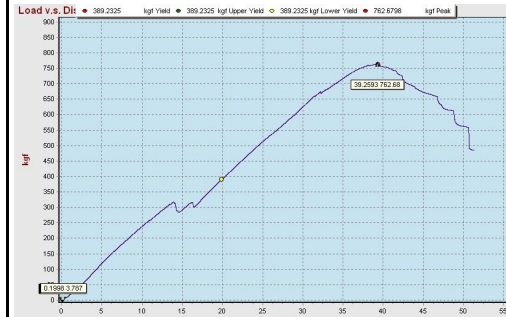
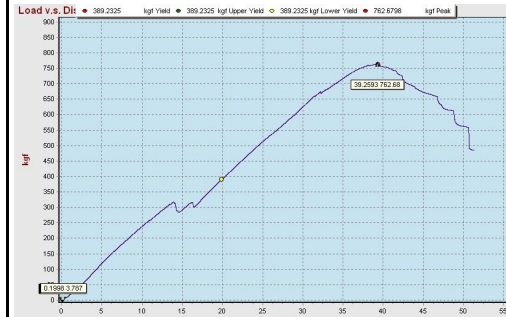
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN

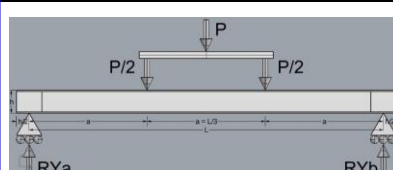


MODULO DE RUPTURA			
Srt (kgf/cm²)	368.33	Src (kgf/cm²)	270.75
Srt (N/mm²)	36.12	Src (N/mm²)	26.55

MODULO ELASTICO APARENTE	
E (kgf/cm²)	273217.06
E (N/mm²)	26793.34

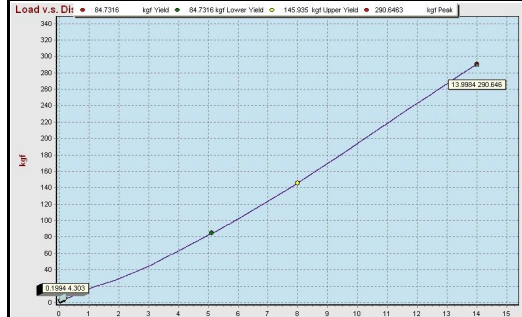
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)			
Sft (kgf/cm²)	291.55	Sfc (kgf/cm²)	214.31
Sft (N/mm²)	28.59	Sfc (N/mm²)	21.02

	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL																																																																																																																																																																													
	Viga Tipo	G5B	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																																																																																																																																																																									
	Profesional:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director:	Arq. Jorge Enrique Lozano																																																																																																																																																																									
	Fecha:	03-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																																																																																																																																																										
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO G5B																																																																																																																																																																													
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS																																																																																																																																																																										
				$S_F = \frac{m_{ip} * c}{I}$ $S_R = \frac{m * c}{I}$ $E = \frac{P * a}{247 \Delta} * (3L^2 - 2a^2)$																																																																																																																																																																										
LECTURA	CARGA kgf	CARGA N	DEFORMACIÓN cm	DEFORMACIÓN mm	<table border="1"> <tr> <td>Ancho de la probeta (cm)</td> <td>Altura de la probeta (cm)</td> <td>Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)</td> <td>Longitud de la probeta (cm)</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>h</td> <td>a</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>18</td> <td>94</td> <td>300</td> </tr> </table>	Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)	b	h	a	L	6	18	94	300																																																																																																																																																													
Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)																																																																																																																																																																											
b	h	a	L																																																																																																																																																																											
6	18	94	300																																																																																																																																																																											
1	0	0.00	0	0	<table border="1"> <tr> <td>TIPO DE ADHESIVO</td> <td>MUF 1242</td> </tr> <tr> <td>PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE PRENSADO</td> <td>18 HORAS</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE FRAGUADO</td> <td>6 DIAS</td> </tr> </table>	TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242	PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	10	TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																	
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																																																																																																																																																																													
PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	10																																																																																																																																																																													
TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS																																																																																																																																																																													
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																													
2	20.47	200.74	0.05	0.5																																																																																																																																																																										
3	39.8	390.30	0.1	1																																																																																																																																																																										
4	59.3	581.53	0.15	1.5																																																																																																																																																																										
5	77.32	758.25	0.2	2	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN</td> </tr> <tr> <td colspan="2">  </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <table border="1"> <tr> <td colspan="2">MODULO DE RUPTURA</td> </tr> <tr> <td>Srt (kgf/cm²)</td> <td>539.53</td> </tr> <tr> <td>Srt (N/mm²)</td> <td>52.91</td> </tr> <tr> <td colspan="2">MODULO ELASTICO APARENTE</td> </tr> <tr> <td>E (kgf/cm²)</td> <td>332537.08</td> </tr> <tr> <td>E (N/mm²)</td> <td>32610.63</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</td> </tr> <tr> <td>Sft (kgf/cm²)</td> <td>211.03</td> </tr> <tr> <td>Sft (N/mm²)</td> <td>20.70</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>95.45</td> <td>936.04</td> <td>0.25</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>115.27</td> <td>1130.41</td> <td>0.3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>132.93</td> <td>1303.59</td> <td>0.35</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>150.93</td> <td>1480.11</td> <td>0.4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>164.13</td> <td>1609.56</td> <td>0.45</td> <td>4.5</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>179.8</td> <td>1763.23</td> <td>0.5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>195.53</td> <td>1917.49</td> <td>0.55</td> <td>5.5</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>212.1</td> <td>2079.98</td> <td>0.6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>228</td> <td>2235.91</td> <td>0.65</td> <td>6.5</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>244.13</td> <td>2394.09</td> <td>0.7</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>258</td> <td>2530.11</td> <td>0.75</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>271.87</td> <td>2666.12</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> <tr> <td colspan="5"> <table border="1"> <tr> <td colspan="5">Contenido de Humedad G5B</td> </tr> <tr> <td>P1</td> <td>T1</td> <td>P 2</td> <td>T2</td> <td>P 3</td> </tr> <tr> <td>14.5%</td> <td>17.0%</td> <td>13.8%</td> <td>13.4%</td> <td>16.0%</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN				<table border="1"> <tr> <td colspan="2">MODULO DE RUPTURA</td> </tr> <tr> <td>Srt (kgf/cm²)</td> <td>539.53</td> </tr> <tr> <td>Srt (N/mm²)</td> <td>52.91</td> </tr> <tr> <td colspan="2">MODULO ELASTICO APARENTE</td> </tr> <tr> <td>E (kgf/cm²)</td> <td>332537.08</td> </tr> <tr> <td>E (N/mm²)</td> <td>32610.63</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</td> </tr> <tr> <td>Sft (kgf/cm²)</td> <td>211.03</td> </tr> <tr> <td>Sft (N/mm²)</td> <td>20.70</td> </tr> </table>		MODULO DE RUPTURA		Srt (kgf/cm²)	539.53	Srt (N/mm²)	52.91	MODULO ELASTICO APARENTE		E (kgf/cm²)	332537.08	E (N/mm²)	32610.63	ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)		Sft (kgf/cm²)	211.03	Sft (N/mm²)	20.70	6	95.45	936.04	0.25	2.5	7	115.27	1130.41	0.3	3	8	132.93	1303.59	0.35	3.5	9	150.93	1480.11	0.4	4	10	164.13	1609.56	0.45	4.5	11	179.8	1763.23	0.5	5	12	195.53	1917.49	0.55	5.5	13	212.1	2079.98	0.6	6	14	228	2235.91	0.65	6.5	15	244.13	2394.09	0.7	7	16	258	2530.11	0.75	7.5	17	271.87	2666.12	0.8	8	18					19					20					21					22					23					24					25					26					27					28					29					30					<table border="1"> <tr> <td colspan="5">Contenido de Humedad G5B</td> </tr> <tr> <td>P1</td> <td>T1</td> <td>P 2</td> <td>T2</td> <td>P 3</td> </tr> <tr> <td>14.5%</td> <td>17.0%</td> <td>13.8%</td> <td>13.4%</td> <td>16.0%</td> </tr> </table>					Contenido de Humedad G5B					P1	T1	P 2	T2	P 3	14.5%	17.0%	13.8%	13.4%	16.0%
GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN																																																																																																																																																																														
																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">MODULO DE RUPTURA</td> </tr> <tr> <td>Srt (kgf/cm²)</td> <td>539.53</td> </tr> <tr> <td>Srt (N/mm²)</td> <td>52.91</td> </tr> <tr> <td colspan="2">MODULO ELASTICO APARENTE</td> </tr> <tr> <td>E (kgf/cm²)</td> <td>332537.08</td> </tr> <tr> <td>E (N/mm²)</td> <td>32610.63</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</td> </tr> <tr> <td>Sft (kgf/cm²)</td> <td>211.03</td> </tr> <tr> <td>Sft (N/mm²)</td> <td>20.70</td> </tr> </table>		MODULO DE RUPTURA		Srt (kgf/cm²)		539.53	Srt (N/mm²)	52.91	MODULO ELASTICO APARENTE		E (kgf/cm²)	332537.08	E (N/mm²)	32610.63	ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)		Sft (kgf/cm²)	211.03	Sft (N/mm²)	20.70																																																																																																																																																										
MODULO DE RUPTURA																																																																																																																																																																														
Srt (kgf/cm²)	539.53																																																																																																																																																																													
Srt (N/mm²)	52.91																																																																																																																																																																													
MODULO ELASTICO APARENTE																																																																																																																																																																														
E (kgf/cm²)	332537.08																																																																																																																																																																													
E (N/mm²)	32610.63																																																																																																																																																																													
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																																																																																																																																																																														
Sft (kgf/cm²)	211.03																																																																																																																																																																													
Sft (N/mm²)	20.70																																																																																																																																																																													
6	95.45	936.04	0.25	2.5																																																																																																																																																																										
7	115.27	1130.41	0.3	3																																																																																																																																																																										
8	132.93	1303.59	0.35	3.5																																																																																																																																																																										
9	150.93	1480.11	0.4	4																																																																																																																																																																										
10	164.13	1609.56	0.45	4.5																																																																																																																																																																										
11	179.8	1763.23	0.5	5																																																																																																																																																																										
12	195.53	1917.49	0.55	5.5																																																																																																																																																																										
13	212.1	2079.98	0.6	6																																																																																																																																																																										
14	228	2235.91	0.65	6.5																																																																																																																																																																										
15	244.13	2394.09	0.7	7																																																																																																																																																																										
16	258	2530.11	0.75	7.5																																																																																																																																																																										
17	271.87	2666.12	0.8	8																																																																																																																																																																										
18																																																																																																																																																																														
19																																																																																																																																																																														
20																																																																																																																																																																														
21																																																																																																																																																																														
22																																																																																																																																																																														
23																																																																																																																																																																														
24																																																																																																																																																																														
25																																																																																																																																																																														
26																																																																																																																																																																														
27																																																																																																																																																																														
28																																																																																																																																																																														
29																																																																																																																																																																														
30																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr> <td colspan="5">Contenido de Humedad G5B</td> </tr> <tr> <td>P1</td> <td>T1</td> <td>P 2</td> <td>T2</td> <td>P 3</td> </tr> <tr> <td>14.5%</td> <td>17.0%</td> <td>13.8%</td> <td>13.4%</td> <td>16.0%</td> </tr> </table>					Contenido de Humedad G5B					P1	T1	P 2	T2	P 3	14.5%	17.0%	13.8%	13.4%	16.0%																																																																																																																																																											
Contenido de Humedad G5B																																																																																																																																																																														
P1	T1	P 2	T2	P 3																																																																																																																																																																										
14.5%	17.0%	13.8%	13.4%	16.0%																																																																																																																																																																										

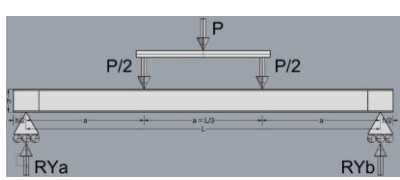
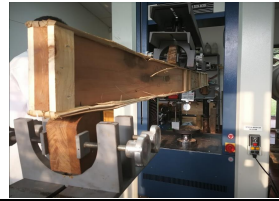
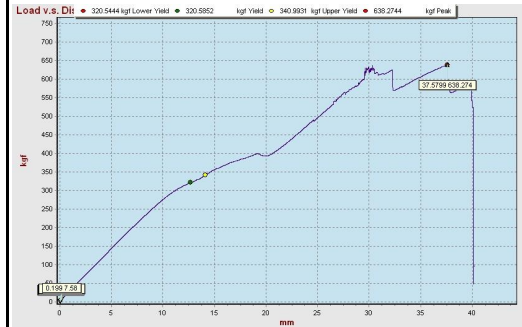
	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL				
	Viga Tipo	G6A	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A
	Profesional:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director :	Arq. Jorge Enrique Lozano
	Fecha:	03-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá	
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO G6A				
ESQUEMA DEL ENSAYO		FOTOGRAFIA ENSAYO		FORMULAS UTILIZADAS	
				$S_F = \frac{m_{ip} * c}{I}$ $S_R = \frac{m * c}{I}$ $E = \frac{Pa}{24I\Delta} * (3L^2 - 2a^2)$	
LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN	
	kgf	N	cm	mm	
1	0	0.00	0	0	
2	17.8	174.56	0.05	0.5	
3	32.73	320.97	0.1	1	
4	47.2	462.87	0.15	1.5	
5	61.6	604.09	0.2	2	
6	75.73	742.65	0.25	2.5	
7	90	882.60	0.3	3	
8	104.8	1027.73	0.35	3.5	
9	121.2	1188.56	0.4	4	
10	135.93	1333.01	0.45	4.5	
11	150.87	1479.52	0.5	5	
12	165.93	1627.21	0.55	5.5	
13	180.87	1773.72	0.6	6	
14	195.8	1920.13	0.65	6.5	
15	210.27	2062.04	0.7	7	
16	225.7	2213.35	0.75	7.5	
17	240.13	2354.86	0.8	8	
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
Contenido de Humedad G6A					
P1	T1	P 2	T2	P3	
15.8%	15.0%	15.1%	15.7%	15.4%	

Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)
b	h	a	L
6	18	94	300

TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242
PRESION DE PENSADO (kg/cm2)	10
TIEMPO DE PENSADO	18 HORAS
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS

GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN	
	

MODULO DE RUPTURA			
Srt (kgf/cm ²)	199.09	Src (kgf/cm ²)	141.43
Srt (N/mm ²)	19.52	Src (N/mm ²)	13.87
MODULO ELASTICO APARENTE			
E (kgf/cm ²)	316586.65		
E (N/mm ²)	31046.43		
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)			
Sft (kgf/cm ²)	199.09	Sfc (kgf/cm ²)	141.43
Sft (N/mm ²)	19.52	Sfc (N/mm ²)	13.87

	COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDAS CON BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) PARA USO ESTRUCTURAL																																																																																																																																																																											
	Viga Tipo	G6B	ENSAYO DE FLEXION ASTM D198 - NTC5279	Formato	FEF VT-1A																																																																																																																																																																							
	Profesional:	Ing. Andrés Felipe Guerra		Director:	Arq. Jorge Enrique Lozano																																																																																																																																																																							
	Fecha:	03-nov-17	Maestría en Construcción	Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá																																																																																																																																																																								
	ENSAYO DE FLEXION VIGA TIPO G6B																																																																																																																																																																											
ESQUEMA DEL ENSAYO 		FOTOGRAFIA ENSAYO 		FORMULAS UTILIZADAS $S_F = \frac{m_{ip} * c}{I}$ $S_R = \frac{m * c}{I}$ $E = \frac{P a}{24 I \Delta} * (3L^2 - 2a^2)$																																																																																																																																																																								
<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>39.88</td><td>391.09</td><td>0.05</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>3</td><td>58.73</td><td>575.94</td><td>0.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>76.4</td><td>749.23</td><td>0.15</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>93.03</td><td>912.31</td><td>0.2</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>111.73</td><td>1095.69</td><td>0.25</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>128.4</td><td>1259.17</td><td>0.3</td><td>3</td></tr> <tr><td>8</td><td>146.67</td><td>1438.34</td><td>0.35</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>9</td><td>163.1</td><td>1599.46</td><td>0.4</td><td>4</td></tr> <tr><td>10</td><td>179.5</td><td>1760.29</td><td>0.45</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>11</td><td>195.33</td><td>1915.53</td><td>0.5</td><td>5</td></tr> <tr><td>12</td><td>210.83</td><td>2067.53</td><td>0.55</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>13</td><td>226.27</td><td>2218.94</td><td>0.6</td><td>6</td></tr> <tr><td>14</td><td>240.73</td><td>2360.75</td><td>0.65</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>15</td><td>255.07</td><td>2501.37</td><td>0.7</td><td>7</td></tr> <tr><td>16</td><td>268.86</td><td>2636.61</td><td>0.75</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>17</td><td>280.08</td><td>2746.64</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	39.88	391.09	0.05	0.5	3	58.73	575.94	0.1	1	4	76.4	749.23	0.15	1.5	5	93.03	912.31	0.2	2	6	111.73	1095.69	0.25	2.5	7	128.4	1259.17	0.3	3	8	146.67	1438.34	0.35	3.5	9	163.1	1599.46	0.4	4	10	179.5	1760.29	0.45	4.5	11	195.33	1915.53	0.5	5	12	210.83	2067.53	0.55	5.5	13	226.27	2218.94	0.6	6	14	240.73	2360.75	0.65	6.5	15	255.07	2501.37	0.7	7	16	268.86	2636.61	0.75	7.5	17	280.08	2746.64	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 (cm)</th> <th>Altura de la probeta (cm)</th> <th>Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)</th> <th>Longitud de la probeta (cm)</th> </tr> <tr> <th>b</th> <th>h</th> <th>a</th> <th>L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6</td> <td>18</td> <td>94</td> <td>300</td> </tr> </tbody> </table>	Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)	b	h	a	L	6	18	94	300
		LECTURA	CARGA	CARGA	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN																																																																																																																																																																						
	kgf		N	cm	mm																																																																																																																																																																							
	1	0	0.00	0	0																																																																																																																																																																							
	2	39.88	391.09	0.05	0.5																																																																																																																																																																							
	3	58.73	575.94	0.1	1																																																																																																																																																																							
	4	76.4	749.23	0.15	1.5																																																																																																																																																																							
	5	93.03	912.31	0.2	2																																																																																																																																																																							
	6	111.73	1095.69	0.25	2.5																																																																																																																																																																							
	7	128.4	1259.17	0.3	3																																																																																																																																																																							
	8	146.67	1438.34	0.35	3.5																																																																																																																																																																							
	9	163.1	1599.46	0.4	4																																																																																																																																																																							
	10	179.5	1760.29	0.45	4.5																																																																																																																																																																							
	11	195.33	1915.53	0.5	5																																																																																																																																																																							
	12	210.83	2067.53	0.55	5.5																																																																																																																																																																							
	13	226.27	2218.94	0.6	6																																																																																																																																																																							
	14	240.73	2360.75	0.65	6.5																																																																																																																																																																							
	15	255.07	2501.37	0.7	7																																																																																																																																																																							
	16	268.86	2636.61	0.75	7.5																																																																																																																																																																							
	17	280.08	2746.64	0.8	8																																																																																																																																																																							
	18																																																																																																																																																																											
	19																																																																																																																																																																											
	20																																																																																																																																																																											
	21																																																																																																																																																																											
	22																																																																																																																																																																											
	23																																																																																																																																																																											
	24																																																																																																																																																																											
	25																																																																																																																																																																											
	26																																																																																																																																																																											
	27																																																																																																																																																																											
	28																																																																																																																																																																											
	29																																																																																																																																																																											
30																																																																																																																																																																												
Ancho de la probeta (cm)	Altura de la probeta (cm)	Distanciade la reaccion al punto de carga mas cercano (cm)	Longitud de la probeta (cm)																																																																																																																																																																									
b	h	a	L																																																																																																																																																																									
6	18	94	300																																																																																																																																																																									
	<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>10</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)	10	TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS	TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																			
TIPO DE ADHESIVO	MUF 1242																																																																																																																																																																											
PRESION DE PRENSADO (kg/cm2)	10																																																																																																																																																																											
TIEMPO DE PRENSADO	18 HORAS																																																																																																																																																																											
TIEMPO DE FRAGUADO	6 DIAS																																																																																																																																																																											
	GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN 																																																																																																																																																																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">MODULO DE RUPTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Srt (kgf/cm²)</td> <td>419.74</td> <td>Src (kgf/cm²)</td> <td>306.23</td> </tr> <tr> <td>Srt (N/mm²)</td> <td>41.16</td> <td>Src (N/mm²)</td> <td>30.03</td> </tr> <tr> <th colspan="4">MODULO ELASTICO APARENTE</th> </tr> <tr> <td>E (kgf/cm²)</td> <td colspan="3">327352.97</td> </tr> <tr> <td>E (N/mm²)</td> <td colspan="3">32102.24</td> </tr> <tr> <th colspan="4">ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)</th> </tr> <tr> <td>Sft (kgf/cm²)</td> <td>210.82</td> <td>Sfc (kgf/cm²)</td> <td>153.81</td> </tr> <tr> <td>Sft (N/mm²)</td> <td>20.67</td> <td>Sfc (N/mm²)</td> <td>15.08</td> </tr> </tbody> </table>	MODULO DE RUPTURA				Srt (kgf/cm²)	419.74	Src (kgf/cm²)	306.23	Srt (N/mm²)	41.16	Src (N/mm²)	30.03	MODULO ELASTICO APARENTE				E (kgf/cm²)	327352.97			E (N/mm²)	32102.24			ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)				Sft (kgf/cm²)	210.82	Sfc (kgf/cm²)	153.81	Sft (N/mm²)	20.67	Sfc (N/mm²)	15.08																																																																																																																																							
MODULO DE RUPTURA																																																																																																																																																																												
Srt (kgf/cm²)	419.74	Src (kgf/cm²)	306.23																																																																																																																																																																									
Srt (N/mm²)	41.16	Src (N/mm²)	30.03																																																																																																																																																																									
MODULO ELASTICO APARENTE																																																																																																																																																																												
E (kgf/cm²)	327352.97																																																																																																																																																																											
E (N/mm²)	32102.24																																																																																																																																																																											
ESFUERZO DE LA FIBRA EN EL LIM. PROP (Sf)																																																																																																																																																																												
Sft (kgf/cm²)	210.82	Sfc (kgf/cm²)	153.81																																																																																																																																																																									
Sft (N/mm²)	20.67	Sfc (N/mm²)	15.08																																																																																																																																																																									
Contenido de Humedad G6B																																																																																																																																																																												
P 1	T 1	P 2	T 2	P 3																																																																																																																																																																								
13.3%	13.4%	16.6%	11.2%	13.6%																																																																																																																																																																								