

COMPORTAMIENTO A FLEXION DE VIGAS DE MADERA DE GRAN LONGITUD  
DE SECCIÓN COMPUESTA REFORZADAS CON LÁMINAS PEGADAS  
PRENSADAS DE GUADUA "ANGUSTIFOLIA KUNTH"



EIDA MARÍA REYES RAMIREZ  
GEOVANNY RAYO MORALES

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2014

COMPORTAMIENTO A FLEXION DE VIGAS DE MADERA DE GRAN LONGITUD  
DE SECCIÓN COMPUESTA REFORZADAS CON LÁMINAS PEGADAS  
PRENSADAS DE GUADUA “ANGUSTIFOLIA KUNTH”

EIDA MARÍA REYES RAMIREZ  
GEOVANNY RAYO MORALES

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Directora  
CAORI PATRICIA TAKEUCHI TAN  
Ingeniera Civil M.Sc.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2014

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

\_\_\_\_\_  
Firma del Presidente del Jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del Jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del Jurado

Bogotá D.C., 5 de julio de 2014

## DEDICATORIA

A nuestras familias por el apoyo y la paciencia que tuvieron con nosotros para que este trabajo pudiera llevarse a cabo. A nuestra directora de trabajo de grado y los distintos asesores, sin su valioso conocimiento y dirección no hubiera sido posible. Gracias!

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a nuestros profesores, nuestra directora de trabajo de grado y asesor quienes pusieron todo de su parte para que este trabajo fuera posible.

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN -----	13
INTRODUCCIÒN -----	14
CAPÍTULO 1	
1. OBJETIVOS -----	15
1.1 OBJETIVO PRINCIPAL -----	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÌFICOS -----	15
CAPITULO 2	
2. ANTECEDENTES-----	16
CAPÍTULO 3	
3. JUSIFICACIÒN -----	18
CAPÍTULO 4	
4. MARCO TEÒRICO -----	19
4.1 LA GUADUA ANGUSTIFOLIA-KUNTH -----	19
4.2 ADHESIVO -----	19
4.3 VIGAS DE GUADUA LAMINADA -----	19
4.4 APROVECHAMIENTO DE LA GUADUA Y OBTENCIÒN DE LAS LÀMINAS -----	20
4.4.1 Aprovechamiento de la guadua -----	20
4.4.1.1 Adecuaciòn del guadual -----	20
4.4.2 Selecciòn del material -----	22
4.4.3 Corte del tallo -----	22
4.4.4 Corte de secciones del tallo -----	22
4.4.5 Avinagrado -----	22
4.4.6 Obtenciòn de tablillas de guadua -----	23
4.4.6.1 Rajado de la guadua -----	23
4.4.6.2 Maquinado de entrenudos -----	25
4.5 SECADO DE LAS LÀMINAS -----	26
4.6 ADECUACIÒN DEL ANCHO DE LAS LÀMINAS -----	26
4.7 MAQUINADO DEL ESPESOR DE LAS LÀMINAS -----	27
4.8 CEPILLADO DE LAS LÀMINAS -----	27

4.9 UNIÓN DE TABLILLAS DE 20 MILÍMETROS DE ANCHO -----	27
4.10 PLANEADO DE LÁMINAS -----	27

## CAPÍTULO 5

5. ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS -----	28
5.1 PROBETAS DE PINO RADIATA (4,0 cm *6,7 cm *3 m DE LARGO) –	30
5.2 PROBETAS LAMINADAS -----	30
5.2.1 Encolado y presado de las probetas -----	30

## CAPÍTULO 6

6. COSTOS DE FABRICACIÓN -----	33
--------------------------------	----

## CAPÍTULO 7

7. ENSAYO DE LAS PROBETAS -----	34
7.1 ENSAYO A FLEXIÓN (NTC – 663) -----	34
7.1.1 Procedimiento del ensayo -----	35
7.1.2 Cálculos del ensayo -----	36
7.2 ENSAYO DE CONTENIDO DEHUMEDAD -----	43
7.2.1 Procedimiento del ensayo -----	43
7.2.2 Cálculo del ensayo -----	44
7.2.3 Corrección de los resultados por humedad -----	44

## CAPÍTULO 8

8. PARÁMETROS DE DISEÑO -----	46
8.1 LA DUCTILIDAD -----	46
8.1.1 Cálculo de la ductilidad -----	46

## CAPÍTULO 9

9. RESULTADOS -----	47
FORMATO A-1 PROBETA FL-1 -----	48
FORAMTO A-2 PROBETA FL-1 -----	49
FORMATO A-3 PROBETA FL-2 -----	50

## CAPÍTULO 10

10. TIPOS DE FALLAS .....	51
10.1 FALLAS OCASIONADAS POR EL PEGANTE .....	51
10.2 FALLAS OCASIONADAS POR DEFECTOS DEL MATERIAL .....	51
10.3 FALLAS OCASIONADAS POR ESFUERZOS .....	52
10.4 FALLAS OCAIONADAS POR PANDEO LATERAL .....	54
CAPÍTULO 11	
11. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	56
CAPÍTULO 12	
12. CONCLUSIONES .....	61
CAPÍTULO 13	
13. RECOMENDACIONES .....	63
BIBLIOGRAFÍA .....	64



## LISTADO DE FIGURAS

Pág.

### CAPÍTULO 4

FIGURA 1. GUADUAL ZONA RURAL DE IBAMA -----	20
FIGURA 2. GUADUAL SIN SOCOLA Y SIN DESGARRONAR -----	21
FIGURA 3. GUADUAL LIMPIO -----	21
FIGURA 4. ALMACENAMIENTO DE LOS TALLOS -----	23
FIGURA 5. LATEADO EN MÀQUINA DE SIERRAS PARALELAS -----	24
FIGURA 6. OBTENCIÒN DE LÀMINAS -----	24
FIGURA 7. MAQUINADO PARA QUITAR ENTRE NUDOS -----	25
FIGURA 8. ALMACENAMIENTO DE TABLILLAS SIN NUDOS -----	26

### CAPÍTULO 5

FIGURA 9. ENSAMBLE DE LAS TABLILLAS DE GUADUA -----	28
FIGURA 10. ENSAMBLE DEL ALMA DE PINO CON LAS TABLILLAS EN GUADUA (VISTA FRONTAL) -----	28
FIGURA 11. ENSAMBLE DEL ALMA DE PINO CON LAS TABLILLAS EN GUADUA (VISTA LATERAL) -----	28
FIGURA 12. EMPALME TIPO FINGERIOINT O DENTADO -----	29
FIGURA 13. EMPALME TIPO DENTADO ELABORADO EN EL TALLER -----	29
FIGURA 14. PROBETAS DE PINO RADIATA -----	30
FIGURA 15. APLICCIÒN DEL ADHESIVO A LAS PROBETAS -----	31
FIGURA 16. PRENSADO DE LAS PROBETAS -----	32
FIGURA 17. PROBETAS TERMINADAS -----	32

### CAPÍTULO 7

FIGURA 18. MONTAJE ENSAYO A FLEXIÒN -----	34
FIGURA 19. MONTAJE PARA EL ENSAYO DE LAS PROBETAS -----	35

### CAPÍTULO 10

FIGURA 20. GRÀFICO PARA ESTIMAR EL MÒDULO DE ELASTICIDD A FLEXIÒN DEL PINO -----	39
FIGURA 21. GRÀFICO PARA ESTIMAR EL MÒDULO DE ELASTICIDD A FLEXIÒN DE LA SECCIÒN COMPUESTA -----	40
FIGURA 22. GRÀFICO PARA ESTIMAR EL MÒDULO DE ELASTICIDD A COMPRESIÒN DEL SOLO PINO -----	41

FIGURA 23. GRÀFICO PARA ESTIMAR EL MÒDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÒN DE LA GUADUA -----	41
FIGURA 24. FALLA POR FALTA DE ADHERENCIA -----	51
FIGURA 25. NUDO QUE OCASIONA LA FALLA DEL ELEMENTO -----	52
FIGURA 26. PROBETA CARGADA Y DEFORMADA SIN COLAPSAR ----	52
FIGURA 27. APLASTAMIENTO EN EL PUNTO DE APLICACIÒN DE LA CARGA -----	53
FIGURA 28. PROBETA EN PINO FALLADA POR CORTANTE -----	53
FIGURA 29. PROBETA LAMINADA FALLADA POR TRACCIÒN -----	54
FIGURA 30. VIGA CARGADA Y CON PANDEO LATERAL -----	54
FIGURA 31. VIGA ARRIOSTRADA EN EL TERCIO DE LA LUZ -----	55

## CAPÍTULO 11

FIGURA 32. COMPORTAMIENTO DE LAS PROBETAS LAMINADAS DE LONGITUD 3 METROS -----	58
FIGURA 33. COMPORTAMIENTO DE LAS PROBETAS LAMINADAS DE LONGITUD 6 METROS -----	58
FIGURA 34. COMPORTAMIENTO DE LAS PROBETAS PATRÒN -----	59

## LISTADO DE TABLAS

	Pág.
CAPÍTULO 6	
TABLA 1. COSTO DE FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS -----	33
CAPÍTULO 7	
TABLA 2. FACTORES DE CORRECCIÓN POR CONTENIDO DE HUMEDAD (ENSAYO DE FLEXIÓN) -----	44
CAPÍTULO 11	
TABLA 3. PROPIEDADES DE CADA PROBETA ENSAYADA -----	56
TABLA 4. PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES DE CADA GRUPO DE PROBETAS -----	57

## ANEXOS

	Pág.
ANEXO A (FORMATOS A1 - A2 - A3 - -----	66
ANEXO B (FORMATOS A1 - A2 - A3 -----	69
ANEXO C (FORMATOS A1 - A2 - A3 -----	72
ANEXO D (FORMATOS A1 - A2 - A3 -----	75
ANEXO E (FORMATOS A1 - A2 - A3 -----	78
ANEXO F (FORMATOS A1 - A2 - A3 -----	81
ANEXO G (FORMATOS A1 - A2 - A3 -----	84
ANEXO H (FORMATOS A1 - A2 - A3 -----	87
ANEXO I (FORMATOS A1 - A2 - A3 -----	90
ANEXO J GRÀFICOS PARA DETERMINAR EL MÒDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÒN DE LA GUADUA Y EL PINO -----	93

## RESUMEN

El comportamiento estructural de la guadua hace que su desempeño sea muy eficiente, debido a que los elementos construidos con este material presentan grandes deformaciones sin fallar en el momento de un sismo. Por esto, las edificaciones hechas con guadua han sido seguras.

La guadua es un material muy económico, fácil de mantener, su madurez se alcanza en poco tiempo siendo además un recurso renovable. Estas características hacen que su uso sea cada vez mayor y se aproveche un recurso natural, que beneficia al ser humano. Además, la guadua se puede transformar fácilmente en elementos que brindan mayor eficiencia, como lo son las láminas delgadas que sirven para fabricar elementos laminados como vigas de gran longitud, las cuales soportan cargas elevadas y deformaciones importantes, antes de llegar a su ruptura o falla.

En este proyecto se estudia el comportamiento de vigas de sección compuesta de madera y guadua laminada, de gran longitud. Para esto se ensayaron a flexión y se determinó su resistencia, ductilidad, deflexión y el Módulo de Elasticidad.

Dentro del estudio se ensayaron dos tipos de vigas compuestas de sección rectangular con alma de pino radiata y tableros de guadua laminada por encima y por debajo. De cada tipo se ensayaron tres réplicas.

Además se ensayarán dos tipos de vigas de pino radiata únicamente. Las vigas en solo pino servirán como testigos de las pruebas.

## INTRODUCCIÓN

El uso de secciones compuestas amplía el número de soluciones, dadas las diferentes combinaciones que se pueden establecer de diferentes tipos de materias primas para lograr una resistencia adecuada y económica. Claro ejemplo de ello son los elementos de concreto reforzado con acero. Muchas investigaciones se han llevado a cabo para lograr diferentes combinaciones que proporcionen un resultado similar al concreto reforzado, sin embargo son pocos los estudios realizados que hablan de la combinación de diferentes tipos de maderas o maderas con otros materiales como bambúes.

La madera es un material que bien manejado es renovable y que se encuentra en casi todas las zonas del planeta. Existen diferentes clases, con propiedades físicas y mecánicas. De igual manera, existen diferentes especies de bambúes. Una de éstas es la *Guadua angustifolia*, la cual posee propiedades mecánicas que han hecho que sea un recurso cuyo uso en la construcción ha sido de tradición en algunas regiones de Colombia, como el eje cafetero.

El interés en la *Guadua angustifolia*-Kunth surgió dada la respuesta estructural de los elementos de este material ante la presencia de sismos, la cual se vio reflejada en el buen comportamiento de las edificaciones del eje cafetero que no colapsaron después de varias actividades sísmicas. Otra propiedad que caracteriza a la guadua es su alta resistencia a la tracción y compresión paralela a la fibra por lo cual se han realizado varias investigaciones sobre sus potenciales usos, llegando a proponerla como un refuerzo para otros tipos de materiales como el concreto. También se ha estudiado de manera amplia el comportamiento de la guadua laminada, siendo una de sus limitaciones, el alto costo que tiene su elaboración. Como una de las alternativas de disminuir el costo, existe la posibilidad de trabajarla en sección compuesta con otras maderas, solución de la que no se encuentran muchos estudios. Teniendo en cuenta todo esto, la propuesta y objetivo principal del presente trabajo es aportar al conocimiento y contribuir al mayor uso de la guadua laminada como material estructural en vigas de gran longitud, trabajando en sección compuesta con madera. Con esta solución se busca un equilibrio entre la resistencia y la economía.

Para lograr el cumplimiento de este objetivo se realizaron ensayos a flexión en vigas de madera y vigas de madera y guadua laminada trabajando en sección compuesta, aplicando una carga concentrada en la mitad de la longitud.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Determinar la resistencia a flexión de vigas de gran longitud de madera y guadua laminada trabajando en sección compuesta.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2.1 Determinar el módulo de elasticidad a compresión del pino radiata.

1.2.2. Determinar el módulo de elasticidad a compresión de la guadua laminada.

1.2.3 Determinar la resistencia, el módulo de elasticidad y la ductilidad de vigas en alma de pino radiata y tableros de guadua laminada por encima y por debajo, de 6m de longitud.

1.2.4 Determinar la resistencia, el módulo de elasticidad y la ductilidad de vigas en alma de pino radiata y tableros de guadua laminada por encima y por debajo, de 3m de longitud.

1.2.5 Determinar la resistencia, el módulo de elasticidad y la ductilidad de vigas de pino radiata de 3m de longitud.

## 2. ANTECEDENTES

Los bambúes han sido utilizados desde hace siglos en construcciones tradicionales, especialmente en países como China y Japón. Esto se debe principalmente a su excelente relación resistencia-peso, alta sostenibilidad debido a su velocidad de crecimiento (3 a 6 años) y flexibilidad arquitectónica para la creación de diferentes formas geométricas. Además los bambúes tienen una ventaja adicional, que en la actualidad es cada vez más relevante para el medio ambiente, como es la capacidad para la captación de CO<sub>2</sub>. De acuerdo con INBAR (International network for bamboo and rattan 2007), en el mundo existen alrededor de 1250 especies de bambú, localizadas principalmente en América, África y Asia. En América hay cerca de 600 especies diseminadas desde el sur de los Estados Unidos hasta el sur de Chile y Argentina, desde los 0 msnm hasta los 3000 msnm. No obstante, la gran diversidad de especies de bambú, solo 20 de éstas han sido estudiadas y se consideran aptas para aplicaciones estructurales. (Rodriguez vasquez, 2011).

En la investigación titulada “Resistencia a la flexión de vigas laminadas con tres especies de madera tropical mexicana”<sup>1</sup> se determinó que las vigas laminadas tenían una menor dispersión de datos que las viga macizas.

De igual manera, en el artículo “Diversas aplicaciones del bambú guadua Angustifolia-Kunth en la arquitectura”<sup>2</sup> se pudo concluir que la guadua permite la oportunidad de desarrollar una nueva industria acorde con el siglo XXI y la generación de un valor agregado con el procedimiento e innovación de nuevos productos para nuestra sociedad, lo que traerá múltiples beneficios ecológicos, económicos y sociales.

Con respecto a los adhesivos utilizados para la elaboración de probetas se encontró en general que las probetas elaboradas con los adhesivos Urea Melamina formaldehído que en adelante se llamará melamina y Resorcina Fenol formaldehido que en adelante se conocerá como resorcinol, presentaron un mejor comportamiento mecánico ante diferentes pruebas. Los valores de resistencia de las probetas elaboradas con el adhesivo acetato de polivinilo (PVA) fueron altos para el material bambú laminado pero en general valores bajos para aquellos ensayos en donde la unión lámina adhesivo es importante (“corte paralelo a la línea de adhesivo y tracción perpendicular a la línea de adhesivo”<sup>3</sup>).

1. ARAUJO MOLINA, Ceron Cardeña, Chan Martín & Alzate García, 2005

2. LOZANO PEÑA, 2009

3. TAKEUCHI TAN & Cortés, 2014



En el mismo sentido en la investigación titulada “Evaluación de la influencia del tipo de pegante en el comportamiento mecánico de guadua laminada prensada”<sup>4</sup> se investigó la diferencia de resistencia mecánica del bambú guadua laminada pegada prensada utilizando probetas pequeñas de acuerdo a la norma ASTM D913 para cuatro tipos diferentes de adhesivos: melanina, resorcinol, PVA resistente a la humedad y cola natural, encontrando valores de esfuerzos últimos a compresión paralela y perpendicular, corte directo y perpendicular, tracción perpendicular y flexión paralela, y módulo de elasticidad a flexión, concluyendo que la melanina y el resorcinol son los adhesivos más apropiados para el uso de este tipo de material.

4. *CORTÈS CORTÈS, Evaluación de la influencia del tipo de pegante en el comportamiento mecánico de guadua laminada prensada, 2009*

### 3. JUSTIFICACIÓN

La guadua es un material renovable cuyas propiedades mecánicas indican un gran potencial para ser explotado por la ingeniería. La planta tiene tallos largos, huecos por dentro y paredes que tienen una excelente resistencia a la tracción y compresión, similar a las maderas más nobles, destacando también su bajo peso específico, del orden de 8.53 kN-m. La guadua es un material renovable que alcanza su estado de madurez de 3 a 6 años de edad desde que nace. Alcanzando una buena resistencia mecánica. (Rodríguez vasquez, 2011)

En Colombia todavía no se ha ensayado vigas laminadas, prensadas y pegadas en guadua trabajando en sección compuesta con longitudes de 6,0 m y 3,0 m por lo cual se realiza en esta investigación.

En anteriores investigaciones la guadua laminada ha demostrado un buen comportamiento a la flexión y debido a su menor tiempo de aprovechamiento con respecto a la madera, es una alternativa para la construcción. Siendo alto el costo de elaboración de la guadua laminada, una sección compuesta guadua laminada con madera permite mejorar la relación costo/beneficio para el constructor.

## 4. MARCO TEÒRICO

### 4.1 LA GUADUA ANGUSTIFOLIA-KUNTH

Esta especie de guadua tuvo su primera clasificación en Colombia en el año 1806 y solo fue hasta 1822 que se clasificó con el nombre con el que hoy se le conoce; desde entonces se ha caracterizado por ser un material ampliamente utilizado para diferentes labores que hicieron y hacen parte del desarrollo económico, social y cultural del país.

La guadua como planta puede clasificarse como un bambú leñoso del cual existen aproximadamente 1000 especies, 500 de estas especies presentes en América. Esta especie particular de 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).

### 4.2 ADHESIVO

El adhesivo para uso estructural como la urea resolcinol, y la urea melanina, las cuales son de dos componentes y de curado en frío, son las más adecuadas para pegar el laminado. La reacción de canalización de la resina se produce por la acción de un componente agregado a la mezcla base. Los adhesivos vinílicos no son adecuados ya que no resisten las solicitudes de los elementos. (Rodríguez vasquez, 2011).

Para este trabajo se utilizó la Urea-Melamina-Formaldehido referencia MUF 1242 por el fabricante. Este adhesivo es termoestable por tanto no vuelve a su estado plástico en presencia de altas temperaturas. Su presentación es de dos componentes, la resina y el catalizador que actúa como un agente de fraguado. En los anexos se adjunta ficha técnica de composición y manejo.

### 4.3 VIGAS DE GUADUA LAMINADA

Se entiende por vigas laminadas de guadua, aquellas que se arman pegando y prensando láminas o tablillas de guadua por los cantos o extremos del elemento, en este caso una viga de madera. Manteniéndose como una unidad estructural con mejores propiedades mecánicas.

## 4.4 APROVECHAMIENTO DE LA GUADUA Y OBTENCIÓN DE LAS LÁMINAS

### 4.4.1 APROVECHAMIENTO DE LA GUADUA

El aprovechamiento de la guadua se realizó en el corregimiento de Ibama del municipio de Yacopí, Departamento de Cundinamarca. El corregimiento de Ibama es de topografía ondulada, de alta humedad relativa (78%) y abundantes afluentes hídricos (pluviosidad mayor a 3000mm/año).

Figura 1. Guadual zona rural de Ibama<sup>5</sup>



“Tanto el corte y aprovechamiento de la guadua, como la producción de las tablillas se realizó siguiendo los pasos realizados por otros investigadores quienes obtuvieron el material vegetal del mismo corregimiento”<sup>6</sup>

#### 4.4.1.1 ADECUACIÓN DEL GUADUAL

Entre las principales actividades de corte y aprovechamiento de la guadua, está la limpieza inicial del guadual, que consiste en el desgarramiento y a la socla del mismo (figura 2 y figura 3), lo que permite posteriormente el acceso para la identificación de la guadua en el rodal.

5. RODRÍGUEZ, Ernesto

6. CORTÉS CORTÉS, Evaluación de la influencia del tipo de pegante en el comportamiento mecánico de guadua laminada prensada, 2009

Figura 2. Guadual sin socola y sin desgarronar<sup>7</sup>



Figura 3. Guadual limpio<sup>8</sup>



7. *RODRÌGUEZ, Ernesto*

8. *RODRÌGUEZ, Ernesto*

#### 4.4.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL

Una de las características principales para la selección de la guadua, es que posea un diámetro de trece a veinte centímetros, otros patrones de selección son la rectitud del tallo y que esté libre de cualquier tipo de patología en el mismo, ya que puede afectar sus propiedades mecánicas.

#### 4.4.3 CORTE DEL TALLO

Una vez seleccionado el material, se procedió al corte del tallo. El corte debe realizarse a la altura del tercer canuto completo que sale de la tierra, y puede variar entre 50 y 80 centímetros saliendo de la misma. El corte debe ser limpio, por lo tanto se sugiere el uso de un zoqueador de agricultura, aunque también se puede hacer con machete. Se recomienda que el corte de la guadua se realice en el cuarto menguante lunar porque en este momento los fluidos internos de la planta se encuentran en la base de la misma, lo que evita que agentes patógenos puedan alterar la calidad del tallo y su resistencia mecánica. En este caso se cortaron cincuenta y dos guaduas para obtener el material necesario para la fabricación de las probetas.

#### 4.4.4 CORTE DE SECCIONES DEL TALLO

El corte se realiza para facilitar el trabajo de avinagrado y posterior desplazamiento al taller para obtener las tablillas. En este caso se realizaron los cortes de 1,25 metros de longitud, lo más rectos posibles para garantizar tablillas rectilíneas.

#### 4.4.5 AVINAGRADO

Esta labor consiste en cortar los culmos, sin permitir la caída horizontal al piso y manteniéndolo en el mismo lugar pero con un corte transversal, apoyándose sobre su mismo tronco. Esta labor facilita el drenaje de los fluidos y la salida de los almidones. Su permanencia en su propio tronco es de 15 a 20 días en época de verano. Posteriormente se corta y almacena (ver Figura 4) en el mismo rodal donde se elabora el proceso de lateado de las tablillas.



Figura 4. Almacenamiento de los tallos<sup>9</sup>



Una vez se realiza el aprovechamiento de los culmos. Se siembra dos chusquines (plántulas de guadua) por cada culmo aprovechado. Con esta labor se garantiza la cadena productiva, protección del medio ambiente y perpetuidad de los rodales.

#### 4.4.6 OBTENCIÓN DE TABLILLAS DE GUADUA

Las tablillas o láminas de guadua se obtienen a partir de la guadua rolliza mediante los siguientes procesos.

##### 4.4.6.1 RAJADO DE LA GUADUA

Esta labor consiste en desplazar los tallos a través de una máquina de sierra paralela con 2 discos separados a una distancia específica. De esta manera, se obtuvieron tablillas de 22 mm de ancho requeridas inicialmente para luego ajustarlas a 20 mm. El proceso se puede apreciar en las figura 5 y figura 6.

9. *RODRÌGUEZ, Ernesto*

Figura 5. Lateado en máquina de sierras paralelas<sup>10</sup>



Figura 6. Obtención de láminas<sup>11</sup>



10. RODRÍGUEZ, Ernesto  
11. RODRÍGUEZ, Ernesto



#### 4.4.6.2 MAQUINADO DE ENTRENUDOS

En este proceso se quitan los entrenudos y la corteza de las láminas mediante el uso de una sierra circular. Este procedimiento permitió obtener láminas de un ancho uniforme, libres de entrenudos y menores imperfecciones. En la figura 7 se aprecia el procedimiento.

Figura 7. Maquinado para quitar entrenudos<sup>12</sup>



12. RODRÌGUEZ, Ernesto

Figura 8. Almacenamiento de tablillas sin nudos<sup>13</sup>



#### 4.5 SECADO DE LAS LÁMINAS

El material se llevó a una secadora de guadua, para que éste quedara con una humedad uniforme del 12%, esto se realiza acomodando las láminas en un secador solar hasta que alcance la humedad requerida. El tiempo que se requirió para esta labor fue de ocho días.

#### 4.6 ADECUACIÓN DEL ANCHO DE LAS LÁMINAS

Luego de haber retirado los imperfectos, la lámina de guadua se ajustó a un ancho de 20,0 mm, mediante discos paralelos de sierra situados horizontalmente.

Se obtuvo un total de 301 láminas a partir de 52 guaduas obtenidas del corregimiento de Ibama. Las láminas fueron en su totalidad maquinadas en el salón comunal de Ibama.

13. RODRÍGUEZ, Ernesto

#### 4.7 MAQUINADO DEL ESPESOR DE LAS LÁMINAS

El maquinado inicial se realizó con discos paralelos adaptados a un trompo de carpintería y separados a 10,0 mm de distancia. Durante este procedimiento se identifican y desechan aquellas tablillas curvas para no obtener longitudes variables.

#### 4.8 CEPILLADO DE LAS LÁMINAS

Luego de tener las tablillas o láminas con un espesor de 10,0 mm y 20,0 mm de ancho, se ajustó el espesor de la lámina cepillándolas por ambas caras. Esto se logra mediante el uso de cepillo mecánico de carpintería. Una vez realizada esta labor se obtienen láminas de espesor homogéneas de 5,0 mm a 7,0 mm sin imperfecciones.

#### 4.9 UNION DE TABLILLAS DE 20 MILIMETROS DE ANCHO

Una vez obtenidas tablillas con ancho homogéneo de 20,0 mm, se procedió al encolado y unión de dos tablillas para obtener un ancho final de 40,0 mm. Esta unión se logra bajo una prensa horizontal, luego de haber aplicado la resina y catalizador, las tablillas permanecieron durante 5 horas sometidas a un esfuerzo de 77 kg/cm<sup>2</sup> que les imprime la prensa horizontal.

El ancho de 40,0 mm fue necesario por cuanto éste es el requerido para ajustarlo al ancho del alma de pino radiata de la probeta.

#### 4.10 PLANEADO DE LÁMINAS

En la selección de las láminas, aquellas que no tuvieron la rectitud necesaria son nuevamente planeadas por sus cantos. Con este último paso se obtuvieron láminas homogéneas en espesor, rectitud y longitud. Una vez terminado este proceso, se procedió a la elaboración de las probetas que se ensayaron en el laboratorio.

## 5. ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

Una vez obtenidos los tableros de 40,0 mm al unir tablillas de 20,0 mm se procedió al montaje, encolado y prensado de estos tableros de guadua sobre el pino radiata, para obtener las probetas de ensayo. El ensamble de los tableros de guadua se realizó de manera trabada sobre la superficie del canto de 40,0 mm de la viga de pino radiata, como se muestra en la figura 9, figura 10 y figura 11.

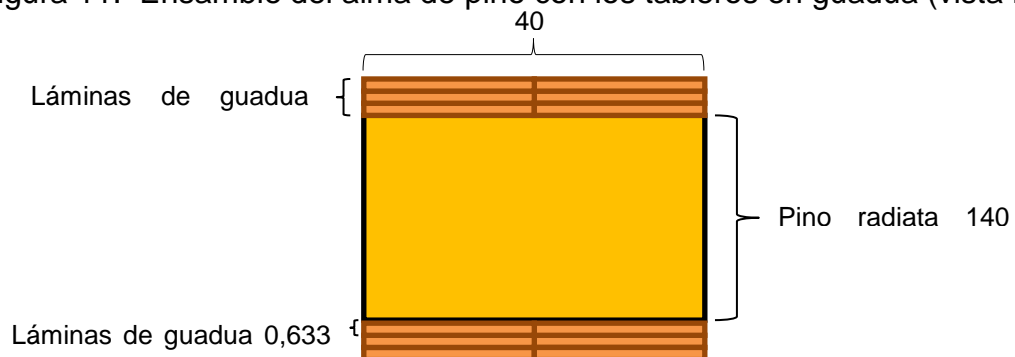
Figura 9. Ensamble de los tableros de guadua



Figura 10. Ensamble del alma de pino con los tableros en guadua (vista frontal)



Figura 11. Ensamble del alma de pino con los tableros en guadua (vista lateral)

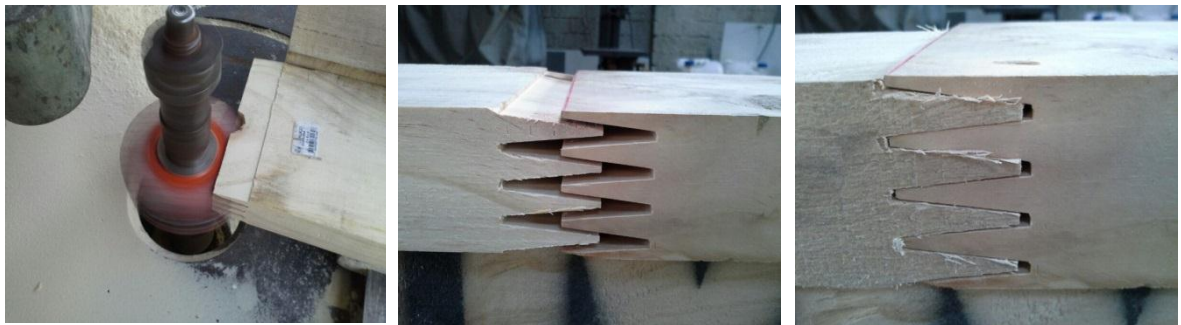


Para lograr armar una viga de 6.0 m de longitud, fue necesario hacer dos ensambles a 1,05 m en los extremos, ya que la pieza standard es de 3.90 m de longitud. Este empalme denominado fingerjoint o dentado es uno los métodos más estables para la unión longitudinal de madera. En la figura 12 se muestra el empalme tipo dentado y en la figura 13 el empalme realizado en taller. Todas las probetas fueron elaboradas en el Centro de investigación del bambú y la madera (CIBAM) de la Universidad Nacional de Bogotá.

Figura 12. Empalme tipo fingerjoint o dentado<sup>14</sup>



Figura 13. Empalme tipo dentado – elaborado en el taller<sup>15</sup>



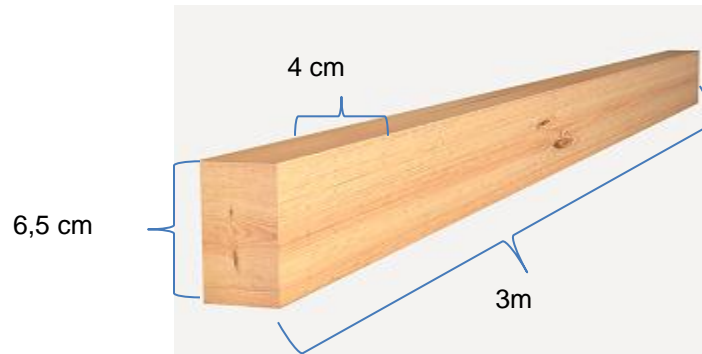
14. GOOGLE IMAGEN, 14 Enero 2014. <http://maderaslamision.com/FingerJoint.html>.

15. RODRÌGUEZ, Ernesto

## 5.1 PROBETAS DE PINO RADIATA (4,0 cm \* 6,7 cm \* 3,0 m DE LONGITUD)

La pieza de pino radiata tenía dimensiones estándar de 4,0 cm x 6,5 cm x 3,2 m de longitud, Esto permitió obtener directamente las vigas de 3,0 m de longitud. Las vigas de esta referencia se muestran en la figura 14.

Figura 14. Probeta de pino radiata<sup>16</sup>



## 5.2 PROBETAS LAMINADAS

Estas probetas constan de secciones de 4,0 cm x 17,5 cm x 6,0 m de longitud. Como son especímenes laminados, tienen tres capas de *Guadua angustifolia* Kunth de 6,33 mm de espesor cada una. También se hicieron especímenes de sección 4,0 cm x 9,3 cm x 3 m de longitud, con dos capas de guadua de 6,33 mm de espesor cada capa.

El pino fue cortado y empalmado para luego, ser encolado y prensado con las tablillas de guadua. A continuación se describe el proceso de encolado y prensado para la fabricación de las probetas.

### 5.2.1 ENCOLADO Y PRENSADO DE LAS PROBETAS

Para el pegue de las tablillas de guadua con el pino se utilizó la Urea-Melamina-Formaldehido MUF 1242 como adhesivo.

16. GOOGLE IMAGEN, 14 Enero 2014, <http://spanish.alibaba.com/product-free/siberian-pine-glued-laminated-beams-103329717.html>.

5.2.1.1 Características generales del Ligante. Es un adhesivo termoestable, es decir, que no recobra su plasticidad por la acción del calor, es un producto que se debe mezclar con un catalizador, para que se produzca el fraguado de la resina. El fraguado se produce por la poli-condensación de la resina, al reaccionar con el catalizador, en un tiempo que depende de la temperatura ambiente. El tiempo de fraguado depende de la temperatura a la cual se aplique la mezcla, ya que a temperaturas de 90° C a 140° C se puede reducir el tiempo de fraguado a apenas unos segundos. Se debe aplicar una presión constante una vez se han unidos las piezas.

La Urea Melamina Formaldehido (Referencia 1242), tiene una presentación en forma líquida, color blanco, alta viscosidad y con una densidad de 1,25 gr/cm<sup>3</sup>.

El catalizador Hardener 2542, tiene una presentación líquida, de color rosado claro, presenta una alta viscosidad y tiene una densidad de 1,3 gr/cm<sup>3</sup>.

Esta mezcla se aplicó con brocha, en una cantidad de 0,33 g/cm<sup>2</sup>, la proporción de mezcla resina-endurecedor fue de 100/15 partes por peso debido a la temperatura ambiente de 20°C.

Figura 15. Aplicación del adhesivo a las probetas<sup>17</sup>



(La Recomendación del fabricante: Resina (1242): 100 partes en peso. Endurecedor (2542): 15 a 25 partes por peso). Las probetas se llevaron a la prensa ejerciéndoles una carga uniforme de 7 kg/cm<sup>2</sup> durante 8 horas (figura 16) y luego se dejaron las probetas para sus curados 5 días a temperatura ambiente, la cual fue en promedio de 20° C.

17. RODRÍGUEZ, Ernesto



Figura 16. Prensado de las probetas<sup>18</sup>



Una vez terminado el proceso de prensado las probetas se curaron y ensayaron. En la figura 17 se muestran los especímenes terminados.

Figura 17. Probetas terminadas<sup>19</sup>



18. RODRÌGUEZ, Ernesto

19. RODRÌGUEZ, Ernesto



## 6. COSTOS DE FABRICACIÓN

El costo del proceso para lograr un buen aprovechamiento a un precio razonable, en donde se refleje un buen balance de costo-beneficio y haciendo un buen uso de los recursos naturales, se tiene en cuenta desde el momento en que las guaduas están en campo y el gradual requiere un proceso de limpieza y acondicionamiento, para que el personal pueda acceder y seleccionar las mejores cepas. Una vez se han cortado los mejores especímenes, se procede a su transporte hasta el sitio de acondicionamiento, en donde se hacen una serie de procedimientos, hasta lograr unas probetas bien terminadas, optimizando el material de la mejor manera, para que el desperdicio sea mínimo y el costo de producción sea el más bajo posible.

Para mostrar los costos del proceso, se hizo una tabla, que resume todo el proceso. La tabla en mención es la tabla 1.

Tabla 1. Costo de fabricación de las probetas

ITEM	Descripción	CANTIDAD	VALOR/U	TOTAL
1	Mano de obra Limpieza Gradual y Aprovechamiento	1	\$750.000	\$750.000
2	Làmina 2x0,5x120 cm	252	\$1.800	\$453.600
3	Resina y catalizador	2,5	\$38.000	\$95.000
4	Transporte Ibama-Bogotá	1	\$400.000	\$400.000
5	Vigas en pino Radiata	9	\$26.000	\$234.000
6	Maquinado	1	\$250.000	\$250.000
7	Desperdicio	5%		\$97.500
8	Costos de Laboratorio Ensayos a Flexión	9	\$100.000	\$900.000
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>\$3.180.100</b>

## 7. ENSAYO DE LAS PROBETAS

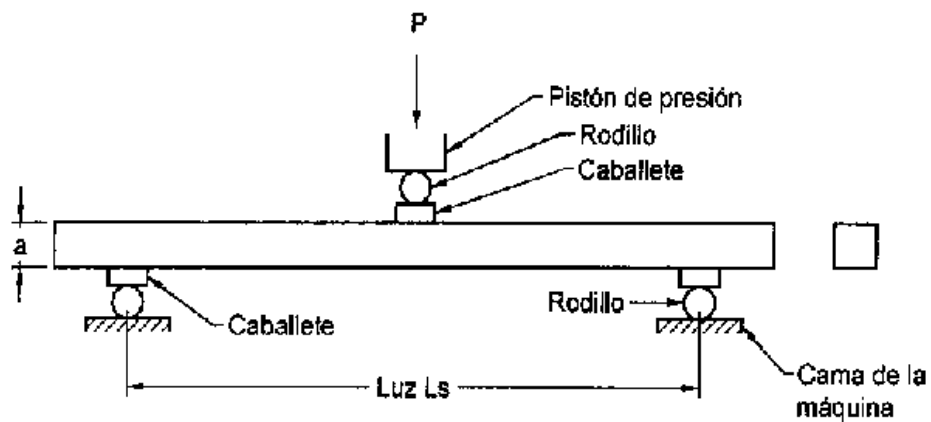
### 7.1 ENSAYO A FLEXIÓN (NTC 663)

El ensayo a flexión se realizó con base en la norma NTC 663, donde se determinan los esfuerzos al límite proporcional, la resistencia máxima, la deflexión en diversos puntos del ensayo y el módulo de elasticidad. Previo a las mediciones mencionadas se midió la base, la luz entre apoyos y altura de cada una de las probetas.

El módulo de elasticidad se calculó utilizando la deflexión medida en el momento en el que la probeta llega al límite de proporcionalidad.

Para la ejecución del ensayo, las probetas se colocaron sobre dos puntos de soporte, ubicados en cada uno de los extremos y se le aplicó la carga como una fuerza concentrada a la mitad de la distancia entre los puntos de apoyo. En la figura 18 se aprecia el montaje para el ensayo.

Figura 18. Montaje ensayo a flexión.



Es importante aclarar que para medir la deflexión de la probeta, se acondicionó un comparador de carátula en el centro de la luz, justo debajo del espécimen, de tal manera que se registraron los valores máximos de dicha medición.

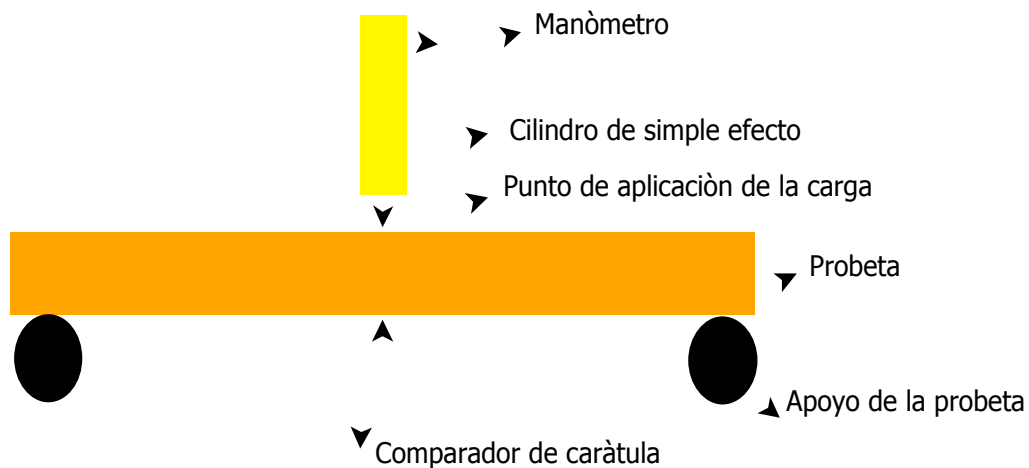
Para la ejecución de los ensayos se emplearon los siguientes equipos de laboratorio:

- Cilindro Hidráulico Enerpac de 10 toneladas de capacidad. Referencia - RC1010.
- Manómetro digital Ashcroft, capacidad 10.000 PSI.
- Deformímetro digital Mitutoyo, con precisión de milésima de milímetro.
- Bomba hidráulica Enerpac, capacidad 10.000 PSI.

### 7.1.1 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

La etapa previa al ensayo de la probeta es hacer la medición de la altura, el ancho y la luz entre apoyos, luego se coloca el espécimen sobre dos apoyos, se mide el centro de la luz y justo en este punto se coloca el comparador de carátula, debajo de la muestra. En el punto medio, por la parte superior se aplicó la carga, la cual se registró con un manómetro calibrado, que está conectado a un cilindro de efecto simple y que es movido gracias a la presión que le ejerce un aceite hidráulico, accionado por una bomba de tipo manual. En la figura 19 se muestra el montaje del ensayo.

Figura 19. Montaje para el ensayo de las probetas



Cuando se han colocado los instrumentos de medida, se toman los valores iniciales antes de comenzar el ensayo. Luego se toman datos de carga y deflexión

al mismo tiempo, para intervalos de carga constante, en el momento en el que se presenta la fluencia del material, entonces se registran los valores de carga para incrementos constantes de deflexión, es en esta parte del ensayo en donde el elemento no presenta un gran incremento de carga, pero las deflexiones son muy grandes. El ensayo llega a su etapa final cuando se rompe la probeta en algunas de sus partes o simplemente deja de soportar carga.

Una vez terminado el ensayo, se inspeccionó la viga para identificar el tipo de falla ya que pueden presentarse diferentes tipos de falla, que en ocasiones son influenciados por defectos del material, por una mala colocación en los apoyos, por la forma como se aplicó la carga; también puede ocurrir que falla el adhesivo, si éste no ha sido aplicado de la forma recomendada por el fabricante o porque no se mezcló en las proporciones de acuerdo al productor, o por falta del curado y secado ideal.

Para la ejecución de los ensayos a flexión de las vigas, se utilizó el equipo, las instalaciones y el personal de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

### 7.1.2 CÁLCULOS DEL ENSAYO

Una vez terminado el procedimiento de ensayo de las vigas y toma de datos de campo, se organizaron los datos, elaboraron gráficos y se determinó: el Módulo en el límite proporcional MLP (N/mm<sup>2</sup>), el Módulo de Rotura MR (N/mm<sup>2</sup>), el módulo de elasticidad E (N/mm<sup>2</sup>) y la Deflexión Admisible  $\Delta$  Adm (mm). Las ecuaciones que hacen referencia a los ítems mencionados son la ecuación 1, ecuación 2, ecuación 3, ecuación 4, ecuación 5, ecuación 6, figura 20, figura 21, figura 22 y figura 23.

7.1.2.1 Módulo de Rotura: Para las vigas de pino radiata se calculó con la ecuación 1.

Ecuación 1. Cálculo del Módulo de Rotura para las vigas en pino

$$MRP = \frac{(P * L * h)}{8 * Ix}$$

En donde:

MRP (N/mm<sup>2</sup>) = Módulo de Rotura para el pino  
P (N) = Carga máxima de rotura  
L (mm) = Luz entre los apoyos

h (mm) = Altura de la probeta  
 Ix (mm<sup>4</sup>) = Inercia de la sección con respecto al eje X

El Módulo de Rotura para las vigas laminadas se calculó con la ecuación 2

Ecuación 2. Cálculo del Módulo de Rotura para las vigas laminadas

$$MRL = \frac{(P * L * h)}{8 * Ixc}$$

En donde:

MRL (N/mm<sup>2</sup>) = Módulo de Rotura para viga laminada  
 P (N) = Carga máxima de rotura  
 L (mm) = Luz entre los apoyos  
 h (mm) = Altura de la probeta  
 Ixc (mm<sup>4</sup>) = Inercia de la sección compuesta con respecto al eje X

7.1.2.2 Esfuerzo normal para vigas compuestas en el límite proporcional: Para las vigas de sección compuesta en guadua laminada y pino radiata se utilizaron la ecuación 3 y ecuación 4.

Ecuación 3. Cálculo Esfuerzo normal del pino, en el límite proporcional (viga compuesta)

$$\varepsilon_{LPP} = \frac{P I_p * L * C_p * E_p}{4 * (E_g * I_g + E_p * I_p)}$$

En donde:

$\varepsilon_{LPP}$  (N/mm<sup>2</sup>) = Esfuerzo normal del pino en el límite proporcional (viga compuesta)  
 P<sub>lp</sub> (N) = Carga máxima en el límite de proporcionalidad  
 L (mm) = Luz entre los apoyos  
 C<sub>p</sub> (mm) = Distancia entre el centroide y la fibra más lejana del pino  
 E<sub>p</sub> (N/mm<sup>2</sup>) = Módulo de Elasticidad del pino  
 I<sub>p</sub> (mm<sup>4</sup>) = Inercia de la sección en pino  
 E<sub>g</sub> (N/mm<sup>2</sup>) = Módulo de Elasticidad de la guadua  
 I<sub>g</sub> (mm<sup>4</sup>) = Inercia de las secciones en guadua

Ecuación 4. Cálculo Esfuerzo normal de la guadua, en el límite proporcional (viga compuesta)

$$\Sigma \text{LPG} = \frac{P \text{ Ip} * L * \text{Cg} * \text{Eg}}{4 * (\text{Eg} * \text{Ig} + \text{Ep} * \text{Ip})}$$

En donde:

$\Sigma \text{LPG} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	=	Esfuerzo normal de la guadua en el límite proporcional (viga compuesta)
$\text{P} \text{ (N)}$	=	Carga máxima en el límite de proporcionalidad
$\text{L} \text{ (mm)}$	=	Luz entre los apoyos
$\text{Cg} \text{ (mm)}$	=	Distancia entre el centroide y la fibra más lejana de la guadua
$\text{Ep} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	=	Módulo de Elasticidad del pino
$\text{Ip} \text{ (mm}^4\text{)}$	=	Inercia de la sección en pino
$\text{Eg} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	=	Módulo de Elasticidad de la guadua
$\text{Ig} \text{ (mm}^4\text{)}$	=	Inercia de las secciones en guadua

7.1.2.3 Esfuerzo normal máximo para vigas compuestas: Para las vigas de sección compuesta en guadua laminada y pino radiata se utilizaron la ecuación 5 y ecuación 6.

Ecuación 5. Cálculo Esfuerzo normal máximo del pino (viga compuesta)

$$\Sigma_{\text{maxP}} = \frac{P * L * \text{Cp} * \text{Ep}}{4 * (\text{Eg} * \text{Ig} + \text{Ep} * \text{Ip})}$$

En donde:

$\Sigma_{\text{maxP}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	=	Esfuerzo normal máximo del pino (viga compuesta)
$\text{P} \text{ (N)}$	=	Carga máxima
$\text{L} \text{ (mm)}$	=	Luz entre los apoyos
$\text{Cp} \text{ (mm)}$	=	Distancia entre centroide y la fibra más lejana del pino
$\text{Ep} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	=	Módulo de Elasticidad del pino
$\text{Ip} \text{ (mm}^4\text{)}$	=	Inercia de la sección en pino
$\text{Eg} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	=	Módulo de Elasticidad de la guadua
$\text{Ig} \text{ (mm}^4\text{)}$	=	Inercia de las secciones en guadua

Ecuación 6. Cálculo Esfuerzo normal máximo de la guadua (viga compuesta)

$$\sigma_{\max G} = \frac{P * L * C_g * E_g}{4 * (E_g * I_g + E_p * I_p)}$$

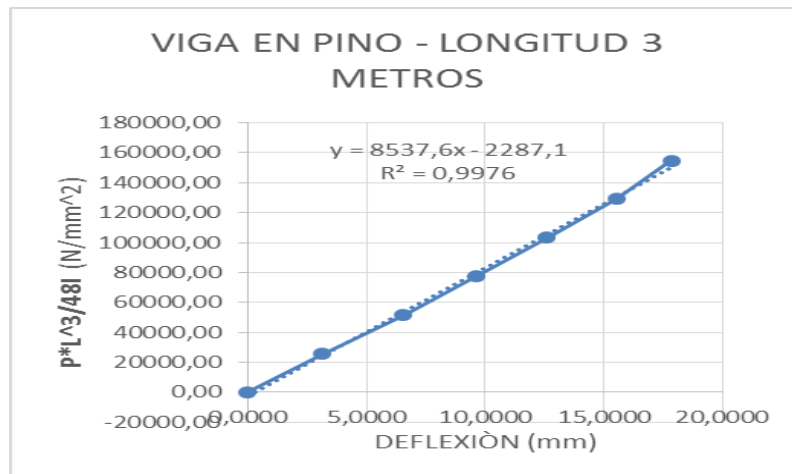
En donde:

- $\sigma_{\max G}$  (N/mm<sup>2</sup>) = Esfuerzo normal máximo de la guadua (viga compuesta)
- P(N) = Carga máxima
- L (mm) = Luz entre los apoyos
- C<sub>g</sub> (mm) = Distancia entre centroide y la fibra más lejana de la guadua
- E<sub>p</sub> (N/mm<sup>2</sup>) = Módulo de Elasticidad del pino
- I<sub>p</sub> (mm<sup>4</sup>) = Inercia de la sección en pino
- E<sub>g</sub> (N/mm<sup>2</sup>) = Módulo de Elasticidad de la guadua
- I<sub>g</sub> (mm<sup>4</sup>) = Inercia de las secciones en guadua

7.1.2.4 Módulo de Elasticidad: Se estima haciendo un gráfico que relaciona los esfuerzos soportados por la probeta en la zona elástica, con la deformación unitaria que presenta, bajo cada incremento de carga. También podría considerarse como la zona en la que el material soporta cargas, manteniendo los esfuerzos y las deformaciones constantes, sin presentar ninguna alteración en presencia de éstos; de tal forma que en el momento en el que se descargue el elemento, el material vuelve a su estado inicial de esfuerzos.

Para estimar el Módulo de Elasticidad a flexión del pino, se presenta la figura 20.

Figura 20. Gráfico para estimar el módulo de elasticidad a flexión del pino

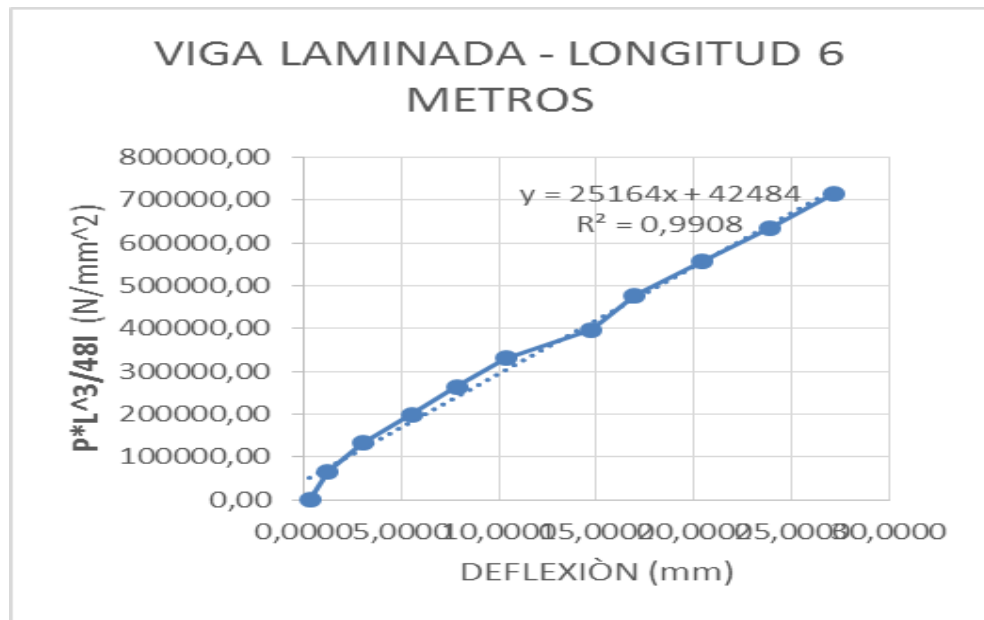


En donde:

P (N) = Carga aplicada en el transcurso del ensayo  
L (mm) = Luz entre los apoyos  
I (mm<sup>4</sup>) = Inercia de la sección en pino

Para estimar el Módulo de Elasticidad a flexión de la sección compuesta, se presenta la figura 21.

Figura 21. Gráfico para estimar el módulo de elasticidad a flexión de la sección compuesta



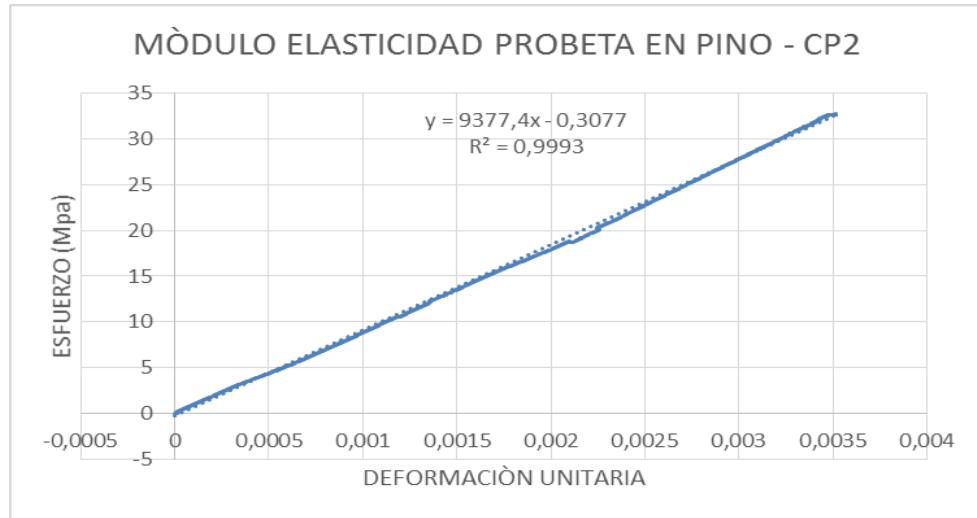
En donde:

P (N) = Carga aplicada en el transcurso del ensayo  
L (mm) = Luz entre los apoyos  
I (mm<sup>4</sup>) = Inercia de la sección compuesta



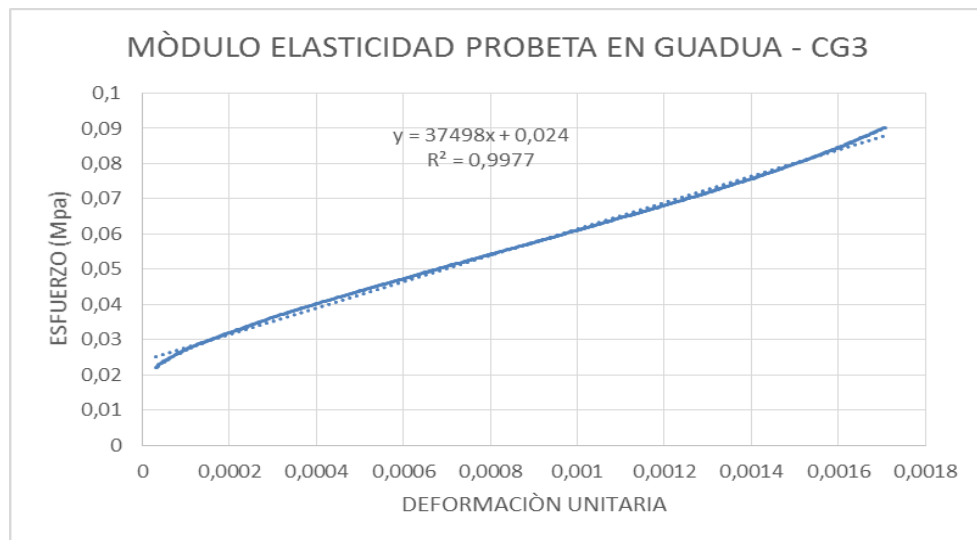
Para estimar el Módulo de Elasticidad a compresión del solo pino, se presenta la figura 22.

Figura 22. Gráfico para estimar el módulo de elasticidad a compresión del solo pino



Para estimar el Módulo de Elasticidad a compresión de la guadua, se presenta la figura 23.

Figura 23. Gráfico para estimar el módulo de elasticidad a compresión de la guadua



7.1.2.5 Deflexión Admisible: Es un parámetro que sirve para saber en qué zona de deformaciones, el material está trabajando bajo condiciones seguras, es decir que garantiza que los elementos están soportando los esfuerzos en la zona elástica y con un factor de seguridad, para evitar que pasen a la zona plástica, podría decirse que está en función de la luz entre apoyos. Este cálculo se toma de tablas de diseño, que se encuentran en diversos libros de resistencia de materiales. En la ecuación 7 se hace referencia a la deflexión Admisible.

Ecuación 7. Cálculo de la deflexión Admisible

$$\Delta \text{ Adm.} = \frac{L}{200}$$

En donde:

$\Delta \text{ Adm.}$  = Deflexión Admisible  
 $L \text{ (mm)}$  = Luz entre los apoyos

7.1.2.6 Cálculo de la Inercia en sección del pino solo: Para las vigas en solo pino se calcula con la ecuación 8.

Ecuación 8. Cálculo de la Inercia en sección de solo pino

$$I_x = \frac{b * h^3}{12}$$

En donde:

$I_x \text{ (mm}^4\text{)}$  = Inercia de la sección en solo pino con respecto al eje X  
 $b \text{ (mm)}$  = Ancho de la probeta  
 $h \text{ (mm)}$  = Altura de la probeta

7.1.2.7 Cálculo de la Inercia en sección compuesta: Para hacer este procedimiento, se calcula la inercia del pino y la inercia de la guadua por separado. El cálculo de la inercia del alma de pino se presenta en la ecuación 9 y el cálculo de la inercia para los tableros de guadua se presenta en la ecuación 10.

Ecuación 9. Cálculo de la Inercia del alma de pino (sección compuesta)

$$I_{px} = \frac{b * hp^3}{12}$$

En donde:

$I_{px}$  (mm<sup>4</sup>) = Inercia del alma en pino con respecto al eje X (Sección Compuesta)  
b (mm) = Ancho de la probeta  
hp (mm) = Altura del alma en pino

Ecuación 10. Cálculo de la Inercia de los tableros de guadua (sección compuesta)

$$I_{gx} = \frac{b * (h^3 - hp^3)}{12}$$

En donde:

$I_{gx}$  (mm<sup>4</sup>) = Inercia de los tableros en guadua con respecto al eje X (Sección Compuesta)  
b (mm) = Ancho de la probeta  
hp (mm) = Altura del alma en pino  
h (mm) = Altura de la probeta

## 7.2 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Es importante conocer la cantidad de agua presente en cada probeta de ensayo, ya que la humedad de cada una de ellas afecta los resultados.

### 7.2.1 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Para obtener el contenido de humedad, se realizaron los ensayos de las probetas, luego se cortó un fragmento de cada espécimen ensayado, se pesó, se introdujo en el horno de secado y posteriormente se obtuvo su peso seco. La norma que describe el procedimiento de ensayo es la NTC 206-2.

## 7.2.2 CÁLCULOS DEL ENSAYO

Se calculó el contenido de humedad con la Ecuación 11

Ecuación 11. Cálculo del contenido de humedad

$$CH\% = 100 \times \frac{(P_{sa} - P_{sh})}{P_{sh}}$$

Dónde:

CH (%) = Contenido de humedad  
P<sub>sa</sub> (g) = Peso húmedo  
P<sub>sh</sub> (g) = Peso seco al horno

## 7.2.3 CORRECIÓN DE LOS RESULTADOS POR HUMEDAD

Cuando la humedad natural de los especímenes no es la ideal, el resultado se ve afectado, entonces se pueden hacer unos ajustes de acuerdo a tablas, que ya existen (Faherty 1989). En la tabla 2 se presentan los factores de corrección, de acuerdo al autor.

Tabla 2. Factores de corrección por contenido de humedad (ensayo de flexión)<sup>20</sup>

Prueba	Flexión		
	MR	RLP	E
Factor de corrección por cada 1% CH	5%	4%	2%
Modificación máxima permitida por CH (%)	25%	25%	14%

Con los factores de corrección anteriores se evitó generar valores sobre y sub-estimados de resistencia, por lo tanto se limita la corrección lineal hasta un 25%, ya que cuando el porcentaje de humedad aumenta la resistencia mecánica disminuye, hasta llegar al punto de saturación de las fibras a partir del cual las propiedades mecánicas permanecen constantes, y de igual forma cuando la humedad disminuye aumenta la resistencia, pero conforme se acerca a su estado anhidro la resistencia toma valores cada vez más constantes, por tanto como lo menciona Gutiérrez de López (2003), la corrección no es lineal.

Como el contenido de humedad natural es bastante estable y los valores obtenidos son muy parecidos el uno con el otro, entonces los resultados no se ven afectados por la cantidad de agua presente en cada probeta.

20. *Faherty, (1989).*

## 8. PARÀMETROS DE DISEÑO

Cuando se tienen elementos estructurales de notable importancia, fabricados en materiales alternativos como la madera y la guadua, hay parámetros que juegan un papel muy importante y hacen que estas construcciones tengan ventajas respecto a los materiales tradicionales. Uno de los criterios que hace la diferencia es la ductilidad o capacidad para deformarse, cuando se presentan desplazamientos o cargas.

### 8.1 LA DUCTILIDAD

La ductilidad del material, es una propiedad que aumenta la deformación de los elementos, bajo carga constante sin disminuir su resistencia. Las cargas pueden ser, cargas muertas y cargas vivas. En cuanto a las cargas vivas, pueden ser ocasionadas por el viento, por vibraciones y por los movientes telúricos. Estas cargas son impredecibles y nunca se sabe su capacidad real de destrucción, entonces la ductilidad de los materiales está en la capacidad de absorber la energía ocasionada por estos fenómenos, haciendo que la edificación sea mucho menos vulnerable y brindar una mayor seguridad a sus ocupantes.

#### 8.1.1 CÁLCULO DE LA DUCTILIDAD

La ductilidad al desplazamiento mide el grado de incursión en el intervalo de comportamiento inelástico, además permite que las estructuras pasen al campo inelástico con grandes deformaciones sin fallar, por esta razón es tan útil en el diseño sismo-resistente. En la ecuación 12 se describe como calcular la ductilidad.

Ecuación 12. Cálculo de la ductilidad

$$\mu\Delta = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Dónde:

- $\mu\Delta$  : Ductilidad al desplazamiento.
- $\Delta u$  : Desplazamiento máximo.
- $\Delta y$  : Desplazamiento máximo a la primera cedencia.

## 9. RESULTADOS

Para cada una de las probetas ensayadas, se calculó el Módulo de Rotura (MR), el Módulo en el límite proporcional (MLP), el módulo de Elasticidad (E), la ductilidad al desplazamiento (D), el contenido de humedad (CH), la deflexión Admisible ( $\Delta$  Adm.), la deflexión en el límite proporcional ( $\Delta y$ ) y la deflexión máxima ( $\Delta u$ ). A continuación se presenta el informe de cada espécimen ensayado. En cuanto al informe se realizaron tres formatos (A1, A2 y A3) para cada probeta ensayada, en los cuales se presentan los resultados y las gráficas obtenidas para cada espécimen.

Los formatos A1, A2 y A3 se ubican uno a continuación del otro, cada uno de ellos ocupa una hoja y en cada formato está estipulada la referencia de cada viga ensayada. La numeración de cada formato y de cada probeta se hizo aleatoriamente. Solamente se presentan los 3 formatos de una probeta, los formatos de los demás especímenes, se encuentran en los anexos.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA					
TRABAJO DE GRADO					
FORMATO A1 MUESTRA FL-1					
		<b>ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS</b> <b>VIGA LAMINADA - LONGITUD 6 METROS</b>			
EQUIPO UTILIZADO: Cilindro hidráulico, Bomba hidráulica, manómetro, deformímetro y calibrador.					
Fecha: Julio 10 de 2014					
P	EP	$\Delta\mu$	$\Delta y$	MRL	$\xi_{LPP}$
(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
4669,62	8926,00	78,93	51,10	39,13	16,78
D	b	h	e	CH	$\Delta adm.$
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(L/200)-(mm)
1,54	41,47	140,00	18,9	9,24	29,25
$\xi_{LPG}$	$\xi_{m\grave{a}xP}$	$\xi_{m\grave{a}xG}$	hT	EG	
(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	
71,53	19,76	84,24	158,90	29968,00	
P Carga Mxima			$\xi_{LPP}$ Esf. del pino en el limite Proporcional		
L Luz entre apoyos			D Ductilidad del Material		
EP Mdulo Elasticidad pino			b Ancho de la probeta		
$\Delta\mu$ Deflexin Mxima			h Alto del alma de pino		
$\Delta y$ Deflexin Elstica			CH Contenido de Humedad		
MRL Mdulo de rotura			$\xi_{LPG}$ Esf. de la guadua en el lim. Propor.		
e Espesor lmina de guadua			$\xi_{m\grave{a}xP}$ Esfuerzo Mximo del pino		
$\Delta adm.$ Deflexin Admisible			$\xi_{m\grave{a}xG}$ Esfuerzo Mximo de la guadua		
hT Altura total probeta			Eg Mdulo Elasticidad guadua		
<b>LUZ ENTRE APOYOS (mm)</b>				<b>CARGA ELSTICA (N)</b>	
5850				3964,77	



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**  
**TRABAJO DE GRADO**

**FORMATO A2**  
**MUESTRA**  
**FL-1**

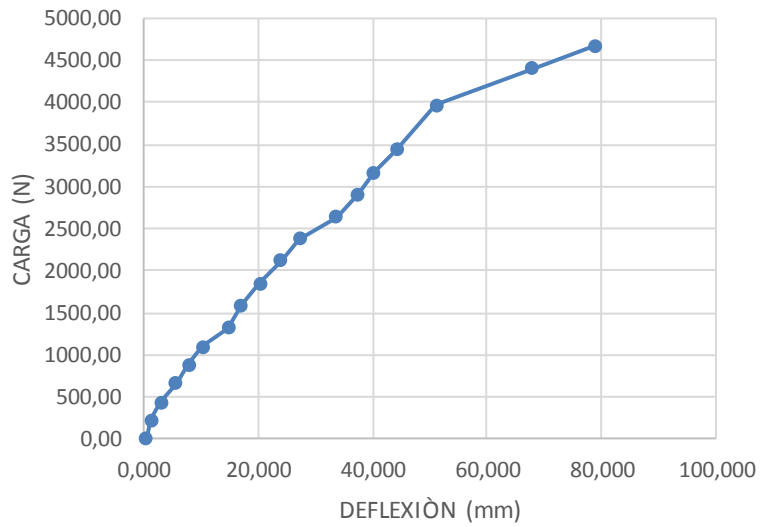
Fecha: Julio 10 de 2014



Carga (N)	Deflexiòn (mm)
0,00	0,333
220,27	1,234
440,53	3,006
660,80	5,520
881,06	7,845
1101,33	10,344
1321,59	14,744
1585,91	16,951
1850,23	20,385
2114,55	23,940
2378,86	27,215
2643,18	33,548
2907,54	37,391
3171,82	40,266
3436,14	44,242
3964,77	51,104
4405,30	67,929
4669,62	78,925

**ENSAYO DE FLEXIÒN EN VIGAS**

**VIGA LAMINADA - LONGITUD 6 METROS**



<b>CARGA MÀXIMA (N)</b>
4669,62

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**TRABAJO DE GRADO**

**FORMATO A3**

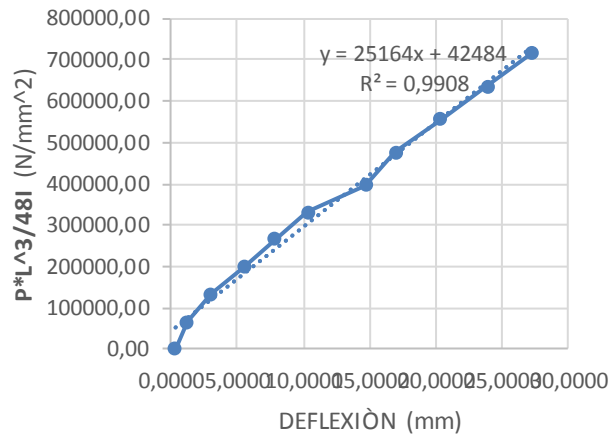
Fecha: Julio 10 de 2014

**MUESTRA  
FL-1**

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS**

<b>P*L<sup>3</sup>/48I (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>
0,00	0,3330
66259,45	1,2340
132518,89	3,0060
198778,34	5,5200
265037,79	7,8450
331297,24	10,3440
397556,68	14,7440
477068,02	16,9510
556579,36	20,3850
636090,69	23,9400
715602,03	27,2150
795113,36	33,5480
874636,50	37,3910
954136,04	40,2660
1033647,37	44,2420
1192670,05	51,1040
1325188,94	67,9290
1404700,28	78,9250

**VIGA LAMINADA - LONGITUD 6 METROS**



I Pino	9482806,67	(mm <sup>4</sup> )
I Guadua	4382340,41	(mm <sup>4</sup> )
I total	13865147,08	(mm <sup>4</sup> )

## 10. TIPOS DE FALLAS

Una vez realizados los ensayos de las probetas, se hace una inspección visual a cada espécimen ensayado, para poder identificar la forma en la que falló cada elemento. Las formas de falla se presentan por varios motivos o circunstancias y se pueden clasificar de acuerdo a la forma en que se presentan.

### 10.1 FALLAS OCASIONADAS POR EL PEGANTE

Cuando el adhesivo no se trata de la manera como el fabricante lo recomienda, como por ejemplo, mezclar las proporciones exactas, aplicar la cantidad especificada, dejar secar el tiempo indicado, o simplemente el adhesivo está vencido para su uso; entonces el desempeño no es el esperado. También puede ocurrir que los esfuerzos en las fibras del material fueron tan altos, que el pegante no alcanza a soportar estos esfuerzos y deja que las capas unidas se desprendan.

A continuación se ilustra una imagen, en la que se evidencia una falla por falta de adherencia entre el pegante y las capas unidas. Ver figura 24.

Figura 24. Falla por falta de adherencia



### 10.2 FALLAS OCASIONADAS POR DEFECTOS DEL MATERIAL

La madera es considerada un material biológico, aniso-trópico e higroscópico. La anisotropía hace referencia a la diversidad en cuanto a sus propiedades, entonces por ejemplo, la dirección en la que estén orientadas las fibras, tiene que ver en el desempeño de sus propiedades mecánicas, especialmente la capacidad de soportar esfuerzos. Los nudos en los troncos de madera, es una desviación en el sentido de orientación de las fibras; cuando éstos están presentes en una probeta de ensayo, generan concentración de esfuerzos, que finalmente hacen que el

elemento falle. En la figura 25 se aprecia un nudo, el cual ocasionó la falla de la viga.

Figura 25. Nudo que ocasiona la falla del elemento



### 10.3 FALLAS OCASIONADAS POR ESFUERZOS

En el momento que se hace un ensayo de flexión, se presentan una serie de combinación de esfuerzos, entonces en la parte superior de la probeta se hacen presentes esfuerzos de compresión de las fibras, mientras que en la parte inferior del elemento se presentan esfuerzos de tracción. La falla del elemento se evidencia cuando las láminas de guadua se empiezan a fracturar antes de alcanzar la carga máxima. Luego de esto sigue ejerciendo resistencia sin colapsar. El comportamiento de las fibras de guadua le permitió al elemento pasar al estado inelástico, con grandes deformaciones sin colapsar súbitamente, evidenciando su ductilidad. En la figura 26 se aprecia el elemento cargado y con gran deformación.

Figura 26. Probeta cargada y deformada sin colapsar



En el punto de aplicación de la carga se observó aplastamiento; sin embargo el elemento no falló, lo que evidenció una redistribución de la carga y por tanto el elemento falló en otros puntos diferentes. En la figura 27 se muestra la falla de las fibras por la aplicación de la carga.

Figura 27. Aplastamiento en el punto de aplicación de la carga



También se pueden presentar fallas por otro tipo de esfuerzos, como son los esfuerzos cortantes, que ocasionan fallas súbitas, es decir que el elemento colapsa de una forma inesperada. La forma como la probeta se rompe, es en forma diagonal o a 45 grados, lo que se denomina falla por cortante. En la figura 28, se puede ver la probeta con este tipo de falla.

Figura 28. Probeta en pino fallada por cortante



Es importante destacar que los elementos pueden fallar por esfuerzos en sus fibras más lejanas, estos esfuerzos pueden ser de compresión, cuando el elemento falla en la parte superior y de tracción, cuando el espécimen falla en la

parte inferior. En la figura 29, se observa una probeta que falló por esfuerzos, en las fibras que estaban sometidas a tracción.

Figura 29. Probeta laminada fallada por tracción



#### 10.4 FALLAS OCASIONADAS POR PANDEO LATERAL

Los elementos estructurales deben ser diseñados de tal forma que exista una relación entre la forma y las dimensiones del mismo. Así la altura del espécimen debe tener una relación ideal con la dimensión menor, (el ancho de la probeta), también hay que tener presente que la luz entre los apoyos es fundamental a la hora de soportar esfuerzos, especialmente los ocasionados por la flexión. Para el caso de algunas de las probetas ensayadas, la relación entre la altura y el ancho de las mismas fue de 1 a 4, entonces en el momento de someterlas a los ensayos, la dimensión menor se sale del plano horizontal y las vigas soportan mucho menos carga, que la de diseño. Para las probetas utilizadas en esta investigación se restringió el pandeo lateral. En la figura 30 se aprecia una viga cargada y con pandeo lateral.

Figura 30. Viga cargada y con pandeo lateral





Para evitar el pandeo lateral de las vigas y mejorar su desempeño, se debe restringir o arriostrar los elementos, de tal forma que se evite el volcamiento y así soporte mucha más carga. Para el caso en particular, se arriostraron las vigas en los tercios de la luz. Los elementos que se les restringió el volcamiento fue los que tenían una luz entre apoyos de 6 metros, los especímenes más cortos se ensayaron apoyados en sus extremos, cargados en el centro de la luz y sin ninguna restricción. En la figura 31 se observa el elemento arriostrado, en uno de sus puntos.

Figura 31. Viga arriostrada en el tercio de la luz



## 11. ANALISIS DE RESULTADOS

Luego de terminada la parte experimental, se procedió al análisis de los resultados obtenidos. En la tabla 3 se hace un resumen de cada probeta ensayada, juntos con sus propiedades encontradas.

Tabla 3. Propiedades de cada probeta ensayada

Referencia	FL - 1	FL - 2	FL - 3	FL - 11	FL - 12	FL - 13	FP - 1	FP - 11	FP - 12
<b>Epc</b> (Mpa)	8926,0	8926,0	8926,0	8926,0	8926,0	8926,0	8926,0	8926,0	8926,0
<b>Egc</b> (Mpa)	29968,0	29968,0	29968,0	29968,0	29968,0	29968,0	29968,0	29968,0	29968,0
<b>Efv</b> (Mpa)	25164,0	18570,0	22856,0	12782,0	16312,0	14879,0	8537,6	10635,0	6898,0
<b>Ductilidad</b>	1,54	1,36	1,41	1,44	1,40	1,31	1,14	1,06	1,00
<b>MR</b> (Mpa)	39,1	68,0	45,7	46,4	82,9	65,3	23,5	64,8	15,6
<b><math>\epsilon</math>LPP</b> (Mpa)	16,8	35,9	20,5	12,0	21,2	17,8	15,6	64,0	15,6
<b><math>\epsilon</math>LPG</b> (Mpa)	71,5	146,9	84,8	73,2	133,0	110,5	----	----	----
<b><math>\epsilon</math>màxP</b> (Mpa)	19,8	37,7	24,5	13,1	22,5	18,0	23,5	64,8	15,6
<b><math>\epsilon</math>màxG</b> (Mpa)	84,2	154,0	101,8	79,8	141,7	111,9	----	----	----
<b>Largo</b> (cm)	600,0	600,0	600,0	300,0	300,0	300,0	300,0	210,0	300,0
<b>Ancho</b> (cm)	4,15	3,96	4,09	4,13	4,03	4,11	4,15	4,06	4,08
<b>Alto</b> (cm)	17,78	17,90	17,57	9,34	9,25	9,32	14,16	6,60	6,59

En donde:

- Epc = Módulo de Elasticidad del pino a compresión
- Egc = Módulo de Elasticidad de la guadua a compresión
- Efv = Módulo de Elasticidad de la viga a flexión
- MR = Módulo de Rotura
- $\epsilon$ LPP = Esfuerzo del pino en el límite proporcional
- $\epsilon$ LPG = Esfuerzo de la guadua en el límite proporcional



$\epsilon_{\max P}$  = Esfuerzo máximo del pino  
 $\epsilon_{\max G}$  = Esfuerzo máximo de la guadua

En la tabla anterior se presentó el resumen de las probetas ensayadas, con todas sus propiedades. A continuación se presenta la tabla 4, en la que se sacan los promedios de cada una de las propiedades, para cada grupo de probetas.

Tabla 4. Promedio de las propiedades de cada grupo de probetas

Referencia	Largo (cm)	Efv (Mpa) Promedio	Ductilidad Promedio	MR (Mpa) Promedio	$\epsilon_{LPP}$ (Mpa) Promedio	$\epsilon_{LPG}$ (Mpa) Promedio	$\epsilon_{\max P}$ (Mpa) Promedio	$\epsilon_{\max G}$ (Mpa) Promedio
FL -1 (laminada)	600,0	22.196,7	1,44	51,0	24,4	101,1	27,3	113,34
FL -2 (laminada)								
FL -3 (laminada)								
FL -11 (laminada)	300,0	14.657,7	1,38	64,9	17,0	105,6	17,9	111,15
FL -12 (laminada)								
FL -13 (laminada)								
FP -1 (pino)	300,0	8.690,2	1,07	34,6	31,8	---	34,6	---
FP -11 (pino)								
FP -12 (pino)								

En donde:

Efv = Módulo de Elasticidad de la viga a flexión  
 MR = Módulo de Rotura  
 $\epsilon_{LPP}$  = Esfuerzo del pino en el límite proporcional  
 $\epsilon_{LPG}$  = Esfuerzo de la guadua en el límite proporcional  
 $\epsilon_{\max P}$  = Esfuerzo máximo del pino  
 $\epsilon_{\max G}$  = Esfuerzo máximo de la guadua

A continuación se muestran unos gráficos, en los que se evidencia el comportamiento de cada una de las probetas ensayadas. En cada gráfico, está dibujado el comportamiento de un grupo de probetas, seleccionadas por su longitud, comparando los especímenes laminados. En la figura 32, se demuestra el comportamiento del grupo de probetas laminadas, con una longitud de 3 metros. En la figura 33, se evidencia el comportamiento del grupo de probetas laminadas, de longitud 6 metros. En la figura 34, se aprecia el comportamiento de las probetas en solo pino, las cuales se toman como referencia o muestras patrón y tienen una longitud de 3 metros.

Figura 32. Comportamiento de las probetas laminadas de longitud 3 metros

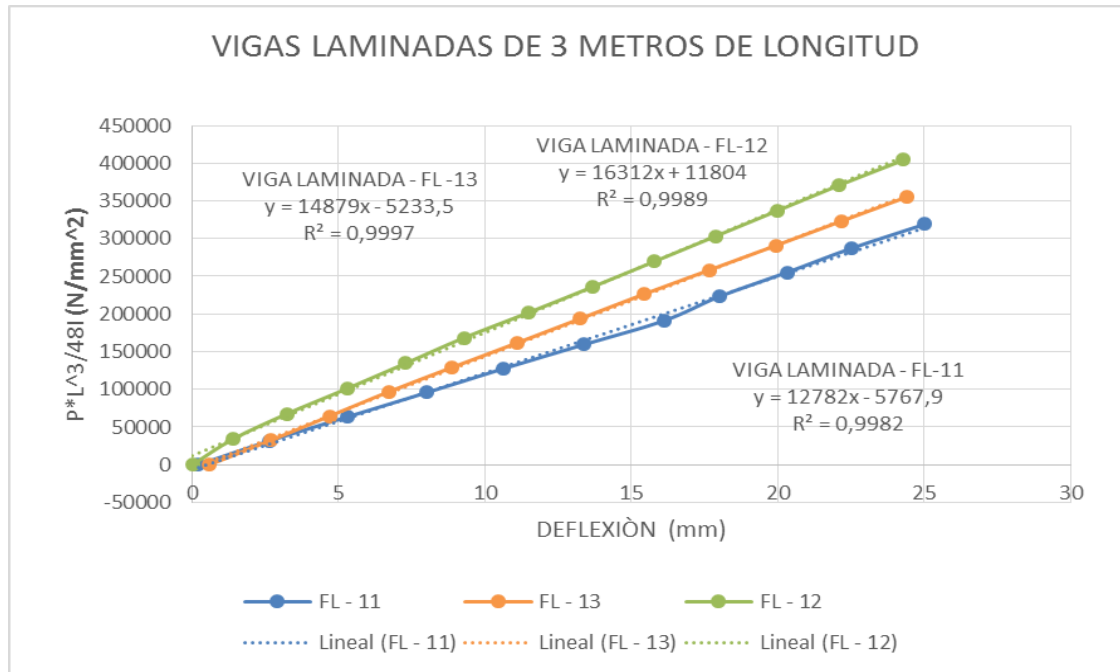


Figura 33. Comportamiento de las probetas laminadas de longitud 6 metros

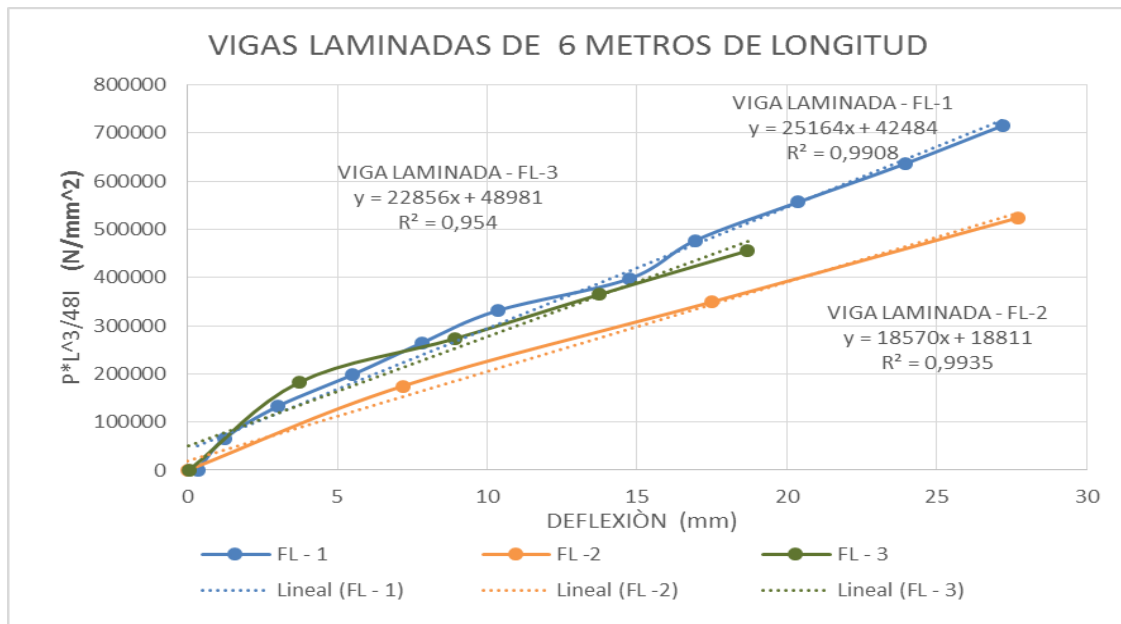
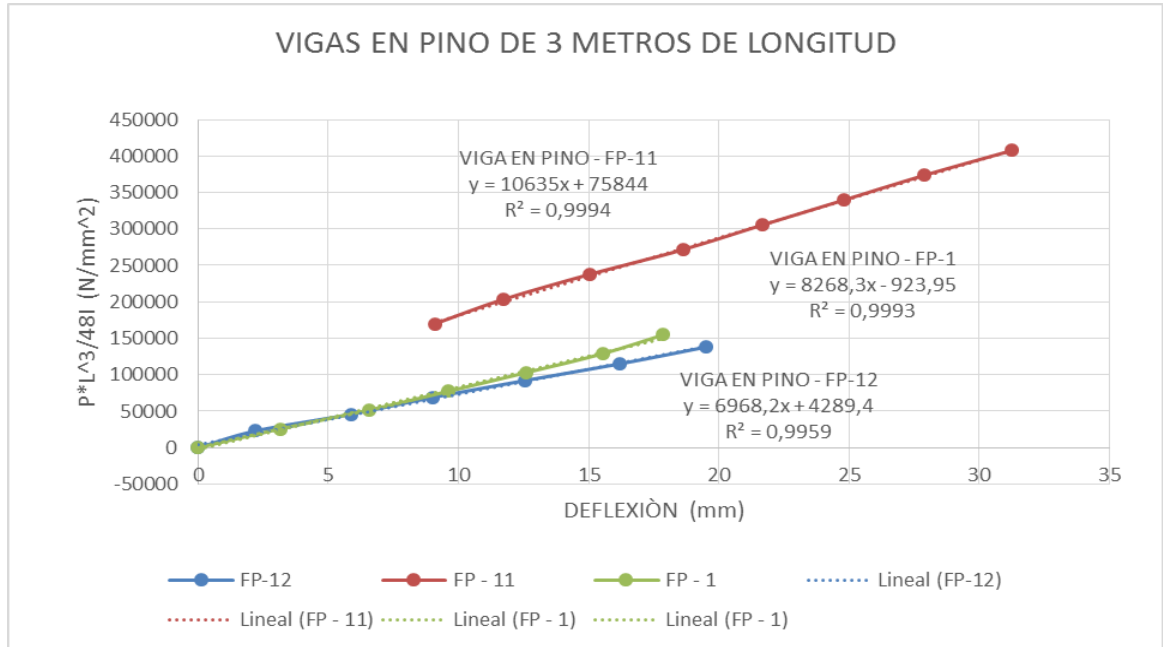


Figura 34. Comportamiento de las probetas patrón



En la tabla 3 y la tabla 4, se puede evidenciar que las probetas laminadas, se desempeñan mejor que las que son en solo pino. Se puede apreciar que mejoran propiedades como la ductilidad, la deflexión y sobre todo el módulo de elasticidad que aumenta considerablemente. Además la deflexión elástica se hace mayor en las probetas laminadas, es decir que estos elementos se deforman mucho más antes de llegar al colapso. En cuanto a la zona elástica del material compuesto, se hace mucho más alta que los especímenes en solo pino, entonces el laminado de los elementos mejora el comportamiento elástico, haciendo que cada espécimen soporte más carga y luego de retirarla vuelve a su estado inicial con mayor facilidad y sin presentar ninguna clase de falla o quedar con esfuerzos remanentes.

En los gráficos de la figura 32, figura 33 y figura 34, se aprecia la trayectoria de cada espécimen ensayado; La trayectoria de cada probeta evidencia que las probetas en solo pino tienen una zona elástica muy pequeña, comparada con la zona elástica de las probetas laminadas. La zona plástica de las probetas laminadas es más prolongada, de tal forma que la falla de los elementos es lenta y por lo menos da un tiempo prudencial para evacuar si llega a existir el riesgo de colapso.

Es importante anotar que en vigas de longitud tan grande y con una altura mucho mayor al ancho, se deben arriostrar, puesto que si no se hace, el desempeño de estos elementos es mínimo o casi nulo. Cuando no se restringe el volcamiento, los especímenes fallan con cargas muy bajas, y por pandeo lateral, pero una vez se evita este tipo de falla, el comportamiento es muy bueno y las cargas para lograr fallar estas vigas, se incrementan considerablemente.

En los gráficos presentados para cada grupo de probetas, se calcula el Módulo de Elasticidad a flexión, evidenciándose que en las probetas patrón es mucho menor que en las vigas laminadas.

## 12. CONCLUSIONES

El proceso de la elaboración de las probetas laminadas, requiere de varias etapas, desde el tener un buen cultivo, acorde a las necesidades, seleccionar el mejor espécimen en campo, cortarlo en el día ideal, transportarlo, para luego proceder a sacar unas latillas de la guadua; etapa que necesita de bastante material, motivo por el cual es de vital importancia incentivar al buen manejo de los cultivos en campo, con suficientes guaduales, para evitar que en el momento de generar una producción en línea de estos elementos laminados, los cultivos sean insuficientes.

Las vigas ensayadas pueden presentar varios tipos de falla, que pueden ser ocasionadas por defectos del material, los cuales hacen que los elementos fallen antes de lo predispuesto y bajo esfuerzos muy bajos, motivo que da pie a seleccionar muy bien las probetas antes de someterlas a cargas, ya sea para pruebas en el laboratorio o para especímenes colocados en campo y que pueden fallar antes de lo esperado.

En vigas con luces muy grandes y alturas considerables, ya sea para ensayar en el laboratorio o para su uso, se deben arriostrar, para evitar el volcamiento o pandeo lateral, que hace que los elementos fallen con cargas muy bajas a las de diseño y su desempeño es poco favorable.

La madera es un material que favorece la combinación de esfuerzos presentes en un ensayo de flexión, pero hay algunas especies que fallan inesperadamente, como el pino que es muy frágil y presenta deformaciones muy pequeñas en presencia de cargas. Por esta razón las probetas laminadas se desempeñan mucho mejor, ya que las deformaciones aumentan, la falla de los elementos se presenta muy lentamente y en casos en que se necesite evacuar una edificación, hay el tiempo suficiente para hacerlo. Entonces las construcciones hechas con elementos laminados son altamente sismo-resistentes.

En el proceso de generar las laminillas de guadua, se presenta un desperdicio de material muy alto. Sería importante buscar un aprovechamiento de este material, pues el desecharlo implica contaminación ambiental. Como es un material que sirve de materia prima para crear elementos que suplen las necesidades del ser humano, se podría, por ejemplo, crear paneles en material aglomerado, recipientes para almacenar cosas, producir papel, en fin muchas más cosas útiles al ser humano.

La guadua se ha convertido en un material de suma importancia en nuestro país y de ella se han logrado derivar muchos productos, que prestan un muy buen beneficio al ser humano. Gracias a todos estos usos que nos presta este material

vegetal, vale la pena apoyar el campesino, que es quien logra su producción; una forma de retribuirle tan esmerado trabajo, sería capacitarlo, para que su interés por este material sea cada vez mayor.

### 13. RECOMENDACIONES

El ensayo de flexión en vigas de gran longitud, requiere de equipos especiales y en los laboratorios del país y de las universidades no existen los montajes adecuados, como son los marcos de carga para ensayar especímenes de luces tan grandes, situación que dificulta la parte experimental, por lo tanto se sugiere que en los laboratorios tanto privados como públicos exista el equipo necesario para lograr ensayar elementos de esta naturaleza, haciendo más productiva la parte investigativa.

En vigas tan largas y tan esbeltas, como las ensayadas, es de vital importancia restringir el volcamiento o pandeo lateral, ya que si no se hace este procedimiento, las cargas a las que fallan son muy bajas, haciendo que el diseño de elementos de estas especificaciones sea poco aprovechado. Se sugiere buscar métodos eficientes de arriostamiento, ya que se pueden generar fuerzas de rozamiento muy altas que hacen que el comportamiento de estos elementos no sea el esperado.

En nuestro país no hay el suficiente conocimiento sobre el aprovechamiento de la guadua, como material alternativo para la construcción, entonces los campesinos la utilizan para producir energía calorífica en la producción de la panela. Para lograr un mejor uso de este material tan bondadoso se necesita capacitar a nuestros cultivadores, para que sean conscientes y se motiven a ver la guadua como parte de la materia prima en las edificaciones.

Hacer investigación, sobre un mejor aprovechamiento de los residuos que salen del proceso del laminado de la guadua, haría que el desperdicio y la contaminación disminuyeran considerablemente. Además la relación costo-beneficio de cada elemento terminado sería mucho más favorable para quien compra el producto.

En el proceso de fabricación de las vigas laminadas, se necesita de un ligante que cumpla los requerimientos en cuanto a resistencia y así conseguir uniones bien resistentes. Para cumplir con este requisito, se requiere de adhesivos que en nuestro medio no se consiguen y la única alternativa se importarlos, etapa del proceso que encarece el producto terminado. Una buena solución sería investigar en buscar productos nacionales que cumplan con las mismas especificaciones a un menor costo, para que la producción de estos elementos sea mucho más económica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Takeuchi Tam, C. P., & Cortés , J. C. (25 de Febrero de 2014). <http://www.revistas.unal.edu.co/>. Recuperado el 25 de Febrero de 2014, de <http://www.revistas.unal.edu.co/: index.php/refame/article/view/26406/37139>
- Araujo Molina, O., Ceron Cardeña, M., Chan Martin, M., & Alzate Garcia, M. (2005). Resistencia a la flexión de vigas laminadas con tres especies de madera tropical mexicana. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (pág. 12). Yucatan Mexico: Ingeniería, vol. 9, núm. 1,.
- Cortes Cortes, J. C. (2009). Evaluación de la influencia del tipo de pegante en el comportamiento mecánico de guadua laminada prensada. Bogota.
- Cortes Cortes, J. C. (s.f.). Evaluacion de la influencia del tipo de pegante en el comportamientomecanico de la guadua laminada prensada pegada.
- Estrada Mejia, M. (2010). Extracción y caracterización mecanica de las fibras de bambu. Bogota.
- Lopez, L. F., & Correal, J. F. (2009). Estudio exploratorio de los laminados de bambú Guadua angustifolia como material estructural. Maderas. Ciencia y tecnología 11(3): 171-182, 2009, (pág. 12). Concepcion Chile.
- Lozanon Peña, J. E. (2009). Diversas aplicaciones del bambu guadua angustifolia en la arquitectura. Horizonte, 6.
- Moreno Orjuela, R. D. (2002). RESPUESTA DE LOS GUADUALES AL MANEJO SILVICULTURAL. Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua, (pág. 7). Pereira.
- Olarte Arenas, A. M. (2012). DISEÑO DE CONEXIONES EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE . Bogota.
- Perez Galan, V. (1992). Manual de madera laminada. Santiago de Chile.
- Rodriguez vasquez, N. F. (2011). Elaboración de tablas y graficos de diseño a flexion de vigas de bambu guadua laminada pegada y oprensada. bogota.




NTC [Norma Técnica Colombiana NTC-663]. (2006). Maderas. Determinación de la resistencia a la flexión. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC).

Faherty, K., & Williamson T. (1989). Wood engineering and construction handbook. New York: Mc Graw Hill. (pág.820)

ANEXO A

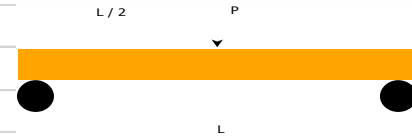
FORMATOS A1 – A2 – A3 – (PROBETA FL – 1)

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA					
TRABAJO DE GRADO					
<b>FORMATO A1</b>					
		<b>MUESTRA FL-1</b>			
ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS					
VIGA LAMINADA - LONGITUD 6 METROS					
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> Cilindro hidráulico, Bomba hidráulica, manómetro, deformímetro y calibrador.					
Fecha: Julio 10 de 2014					
P	EP	$\Delta\mu$	$\Delta y$	MRL	$\xi_{LPP}$
(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
4669,62	8926,00	78,93	51,10	39,13	16,78
D	b	h	e	CH	$\Delta adm.$
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(L/200)-(mm)
1,54	41,47	140,00	18,9	9,24	29,25
$\xi_{LPG}$	$\xi_{m\grave{a}xP}$	$\xi_{m\grave{a}xG}$	hT	EG	
(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	
71,53	19,76	84,24	158,90	29968,00	
P Carga Mxima			$\xi_{LPP}$ Esf. del pino en el limite Proporcional		
L Luz entre apoyos			D Ductilidad del Material		
EP Mdulo Elasticidad pino			b Ancho de la probeta		
$\Delta\mu$ Deflexin Mxima			h Alto del alma de pino		
$\Delta y$ Deflexin Elstica			CH Contenido de Humedad		
MRL Mdulo de rotura			$\xi_{LPG}$ Esf. de la guadua en el lim. Propor.		
e Espesor lmina de guadua			$\xi_{m\grave{a}xP}$ Esfuerzo Mximo del pino		
$\Delta adm.$ Deflexin Admisible			$\xi_{m\grave{a}xG}$ Esfuerzo Mximo de la guadua		
hT Altura total probeta			Eg Mdulo Elasticidad guadua		
LUZ ENTRE APOYOS (mm)				CARGA ELSTICA (N)	
5850				3964,77	

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**  
**TRABAJO DE GRADO**

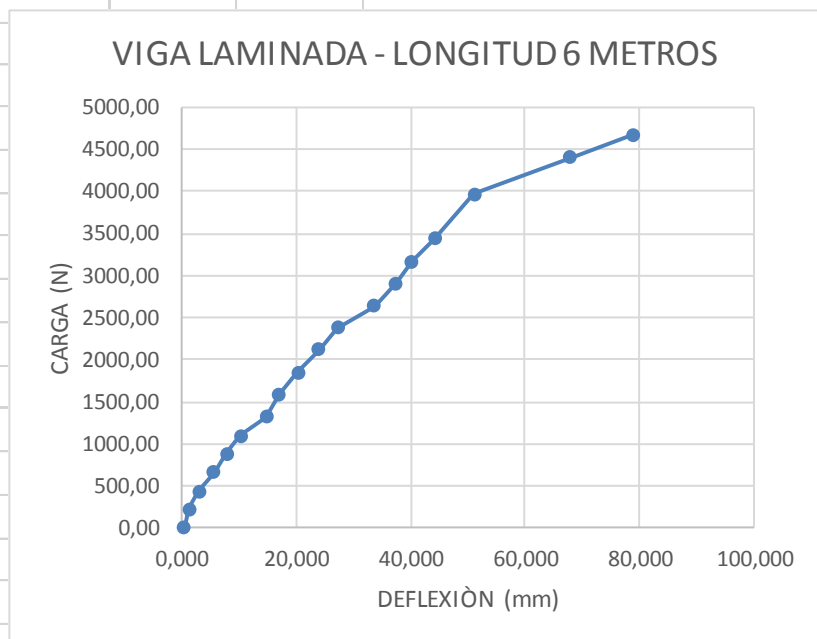
**FORMATO A2**  
**MUESTRA**  
**FL-1**

Fecha: Julio 10 de 2014



Carga (N)	Deflexiòn (mm)
0,00	0,333
220,27	1,234
440,53	3,006
660,80	5,520
881,06	7,845
1101,33	10,344
1321,59	14,744
1585,91	16,951
1850,23	20,385
2114,55	23,940
2378,86	27,215
2643,18	33,548
2907,54	37,391
3171,82	40,266
3436,14	44,242
3964,77	51,104
4405,30	67,929
4669,62	78,925

**ENSAYO DE FLEXIÒN EN VIGAS**



<b>CARGA MÀXIMA (N)</b>
4669,62

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**TRABAJO DE GRADO**

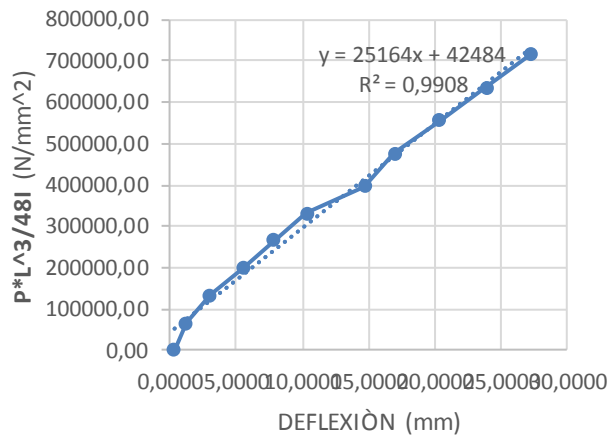
**FORMATO A3**  
**MUESTRA**  
**FL-1**

Fecha: Julio 10 de 2014

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS**

<b>P*L<sup>3</sup>/48I</b> <b>(N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deflexión</b> <b>(mm)</b>
0,00	0,3330
66259,45	1,2340
132518,89	3,0060
198778,34	5,5200
265037,79	7,8450
331297,24	10,3440
397556,68	14,7440
477068,02	16,9510
556579,36	20,3850
636090,69	23,9400
715602,03	27,2150
795113,36	33,5480
874636,50	37,3910
954136,04	40,2660
1033647,37	44,2420
1192670,05	51,1040
1325188,94	67,9290
1404700,28	78,9250

**VIGA LAMINADA - LONGITUD 6 METROS**



I Pino	9482806,67	(mm <sup>4</sup> )
I Guadua	4382340,41	(mm <sup>4</sup> )
I total	13865147,08	(mm <sup>4</sup> )

ANEXO B

FORMATOS A1 – A2 – A3 – (PROBETA FL – 2)

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA					
TRABAJO DE GRADO					
<b>FORMATO A1</b>					
		<b>MUESTRA FL-2</b>			
ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS					
VIGA LAMINADA - LONGITUD 6 METROS					
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> Cilindro hidráulico, Bomba hidráulica, manómetro, deformímetro y calibrador.					
Fecha: Julio 10 de 2014					
P	EP	$\Delta\mu$	$\Delta y$	MRL	$\xi_{LPP}$
(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
8149,62	8926,00	199,03	146,34	68,02	35,94
D	b	h	e	CH	$\Delta adm.$
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(L/200)-(mm)
1,36	39,57	147,00	16,00	9,96	29,25
$\xi_{LPG}$	$\xi_{m\grave{a}xP}$	$\xi_{m\grave{a}xG}$	hT	EG	
(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	
146,92	37,67	154,02	163,00	29968,00	
P	Carga Mxima		$\xi_{LPP}$ Esf. del pino en el limite Proporcional		
L	Luz entre apoyos		D Ductilidad del Material		
EP	Mdulo Elasticidad pino		b Ancho de la probeta		
$\Delta\mu$	Deflexin Mxima		h Alto del alma de pino		
$\Delta y$	Deflexin Elstica		CH Contenido de Humedad		
MRL	Mdulo de rotura		$\xi_{LPG}$ Esf. de la guadua en el lim. Propor.		
e	Espesor lmina de guadua		$\xi_{m\grave{a}xP}$ Esfuerzo Mximo del pino		
$\Delta adm.$	Deflexin Admisible		$\xi_{m\grave{a}xG}$ Esfuerzo Mximo de la guadua		
hT	Altura total probeta		EG Mdulo Elasticidad guadua		
LUZ ENTRE APOYOS (mm)				CARGA ELSTICA (N)	
5850				7774,15	

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**  
**TRABAJO DE GRADO**

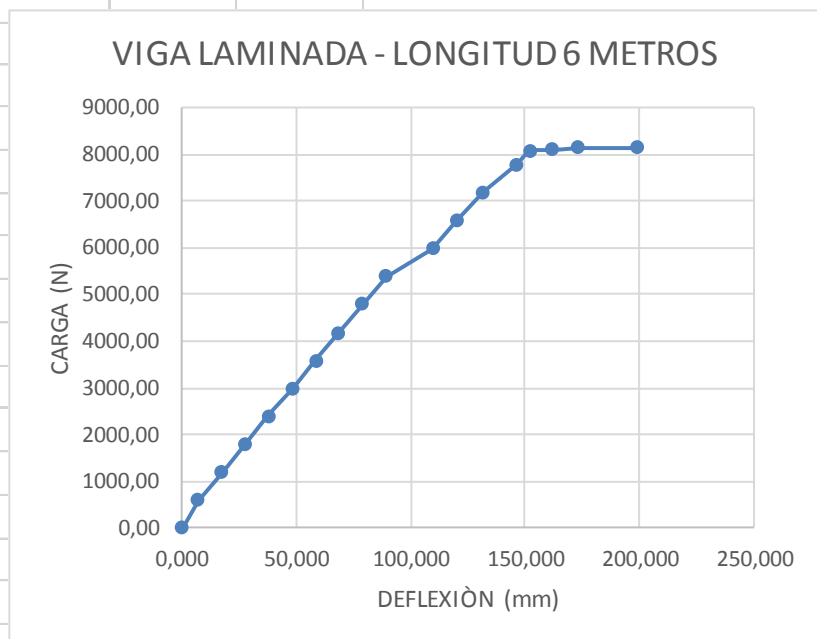
**FORMATO A2**  
**MUESTRA**  
**FL-2**

Fecha: Julio 10 de 2014



Carga (N)	Deflexiòn (mm)
0,00	0,000
598,03	7,180
1196,06	17,489
1793,99	27,713
2392,03	37,846
2990,06	48,686
3588,09	58,696
4186,12	68,704
4784,05	78,718
5382,08	89,230
5980,11	109,719
6578,12	119,766
7176,13	131,683
7774,15	146,336
8073,15	151,836
8091,85	162,000
8140,20	173,100
8149,62	199,030

**ENSAYO DE FLEXIÒN EN VIGAS**



<b>CARGA MÀXIMA (N)</b>
8149,62

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**TRABAJO DE GRADO**

**FORMATO A3**

Fecha: Julio 10 de 2014

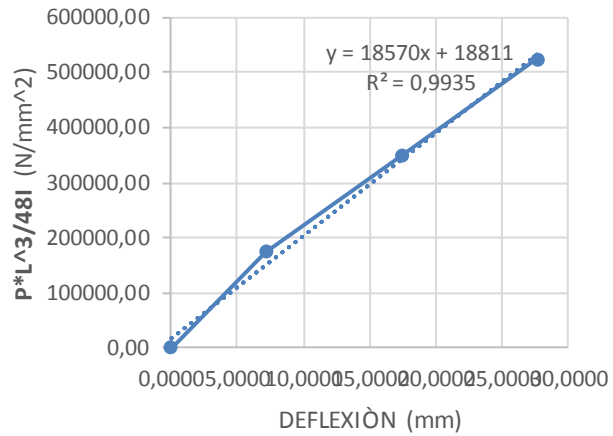
**MUESTRA**

**FL-2**

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS**

<b>P*L<sup>3</sup>/48I (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>
0,00	0,0000
174663,57	7,1800
349327,14	17,4890
523962,07	27,7130
698625,65	37,8460
873289,22	48,6860
1047952,79	58,6960
1222616,36	68,7040
1397251,29	78,7180
1571914,87	89,2300
1746578,44	109,7190
1921236,28	119,7660
2095894,13	131,6830
2270551,97	146,3360
2357880,89	151,8360
2363343,07	162,0000
2377463,95	173,1000
2380213,66	199,0300

**VIGA LAMINADA - LONGITUD 6 METROS**



I Pino	10474584,59	(mm <sup>4</sup> )
I Guadua	3806053,64	(mm <sup>4</sup> )
I total	14280638,23	(mm <sup>4</sup> )

ANEXO C

FORMATOS A1 – A2 – A3 – (PROBETA FL – 3)

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA					
TRABAJO DE GRADO					
<b>FORMATO A1</b>					
		<b>MUESTRA FL-3</b>			
ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS					
VIGA LAMINADA - LONGITUD 6 METROS					
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> Cilindro hidráulico, Bomba hidráulica, manómetro, deformímetro y calibrador.					
Fecha: Julio 10 de 2014					
P	EP	$\Delta\mu$	$\Delta y$	MRL	$\xi LPP$
(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
5382,10	8926,00	94,64	67,22	45,73	20,45
D	b	h	e	CH	$\Delta adm.$
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(L/200)-(mm)
1,41	40,85	142,30	16,7	10,46	29,25
$\xi LPG$	$\xi m\grave{a}xP$	$\xi m\grave{a}xG$	hT	EG	
(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	
84,79	24,54	101,75	159,00	29968,00	
P	Carga Mxima			$\xi LPP$ Esf. del pino en el limite Proporcional	
L	Luz entre apoyos			D Ductilidad del Material	
EP	Mdulo Elasticidad pino			b Ancho de la probeta	
$\Delta\mu$	Deflexin Mxima			h Alto del alma de pino	
$\Delta y$	Deflexin Elstica			CH Contenido de Humedad	
MRL	Mdulo de rotura			$\xi LPG$ Esf. de la guadua en el lim. Propor.	
e	Espesor lmina de guadua			$\xi m\grave{a}xP$ Esfuerzo Mximo del pino	
$\Delta adm.$	Deflexin Admisible			$\xi m\grave{a}xG$ Esfuerzo Mximo de la guadua	
hT	Altura total probeta			Eg Mdulo Elasticidad guadua	
LUZ ENTRE APOYOS (mm)				CARGA ELSTICA (N)	
5850				4485,08	

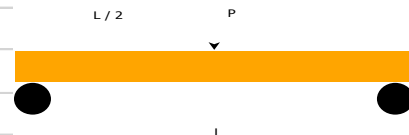


UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

TRABAJO DE GRADO

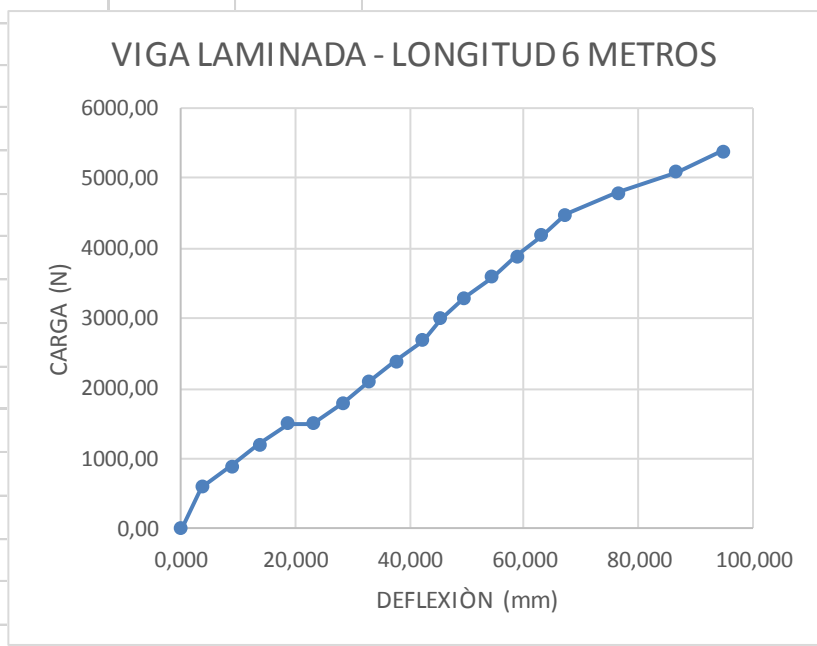
**FORMATO A2**  
**MUESTRA**  
**FL-3**

Fecha: Julio 10 de 2014



Carga (N)	Deflexiòn (mm)
0,00	0,038
598,01	3,714
897,02	8,940
1196,02	13,730
1495,03	18,689
1495,03	23,019
1794,03	28,414
2093,04	32,767
2392,04	37,566
2691,05	42,332
2990,06	45,472
3289,06	49,591
3588,07	54,420
3887,07	58,662
4186,08	62,978
4485,08	67,215
4784,09	76,345
5083,10	86,567
5382,10	94,641

ENSAYO DE FLEXIÒN EN VIGAS



CARGA MÀXIMA (N)
5382,1

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**TRABAJO DE GRADO**

**FORMATO A3**

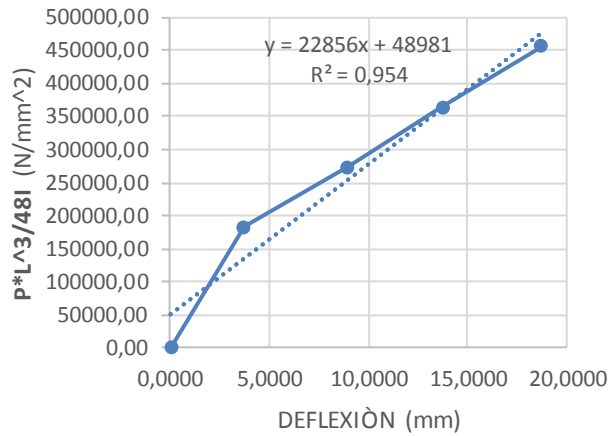
Fecha: Julio 10 de 2014

**MUESTRA  
FL-3**

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS**

<b>P*L<sup>3</sup>/48I (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>
0,00	0,0380
182277,69	3,7140
273416,54	8,9400
364555,39	13,7300
455694,23	18,6890
455694,23	23,0190
546833,08	28,4140
637971,93	32,7670
729110,77	37,5660
820249,62	42,3320
911388,47	45,4720
1002527,31	49,5910
1093666,16	54,4200
1184805,01	58,6620
1275943,85	62,9780
1367082,70	67,2150
1458221,55	76,3450
1549360,39	86,5670

**VIGA LAMINADA - LONGITUD 6 METROS**



I Pino	9809017,63	(mm <sup>4</sup> )
I Guadua	3874639,63	(mm <sup>4</sup> )
I total	13683657,26	(mm <sup>4</sup> )

ANEXO D

FORMATOS A1 – A2 – A3 – (PROBETA FL – 11)

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA					
TRABAJO DE GRADO					
<b>FORMATO A1</b> <b>MUESTRA</b> <b>FL-11</b>					
		<b>ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS</b>			
<b>VIGA LAMINADA - LONGITUD 3 METROS</b>					
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> Cilindro hidráulico, Bomba hidráulica, manómetro, deformímetro y calibrador.					
Fecha: Julio 10 de 2014					
<b>P</b>	<b>EP</b>	<b><math>\Delta\mu</math></b>	<b><math>\Delta y</math></b>	<b>MRL</b>	<b><math>\xi_{LPP}</math></b>
(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
3841,40	8926,00	74,70	51,76	46,35	11,97
<b>D</b>	<b>b</b>	<b>h</b>	<b>e</b>	<b>CH</b>	<b><math>\Delta</math> adm.</b>
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(L/200)-(mm)
1,44	41,33	66,20	27,2	10,03	14,50
<b><math>\xi_{LPG}</math></b>	<b><math>\xi_{m\grave{a}xP}</math></b>	<b><math>\xi_{m\grave{a}xG}</math></b>	<b>hT</b>	<b>EG</b>	
(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	
73,21	13,05	79,79	93,40	29968,00	
P Carga Mxima			$\xi_{LPP}$ Esf. del pino en el límite Proporcional		
L Luz entre apoyos			D Ductilidad del Material		
EP Mdulo Elasticidad pino			b Ancho de la probeta		
$\Delta\mu$ Deflexin Mxima			h Alto del alma de pino		
$\Delta y$ Deflexin Elstica			CH Contenido de Humedad		
MRL Mdulo de rotura			$\xi_{LPG}$ Esf. de la guadua en el lm. Propor.		
e Espesor lmina de guadua			$\xi_{m\grave{a}xP}$ Esfuerzo Mximo del pino		
$\Delta$ adm. Deflexin Admisible			$\xi_{m\grave{a}xG}$ Esfuerzo Mximo de la guadua		
hT Altura total probeta			Eg Mdulo Elasticidad guadua		
<b>LUZ ENTRE APOYOS (mm)</b>				<b>CARGA ELSTICA (N)</b>	
2900				3524,24	

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**  
**TRABAJO DE GRADO**

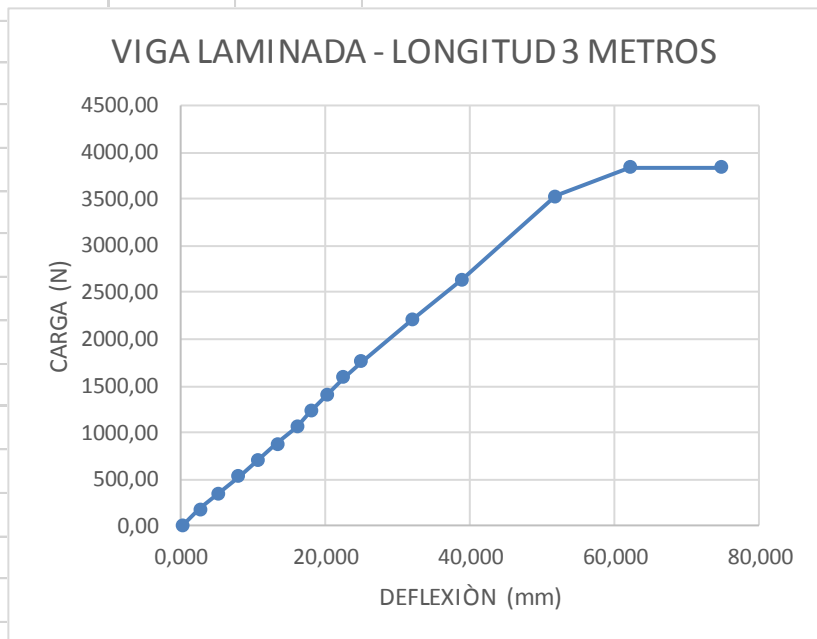
**FORMATO A2**  
**MUESTRA**  
**FL-11**

Fecha: Julio 10 de 2014



Carga (N)	Deflexiòn (mm)
0,00	0,209
176,21	2,657
352,42	5,321
528,64	8,004
704,85	10,640
881,06	13,387
1057,27	16,142
1233,49	18,021
1409,70	20,322
1585,91	22,522
1762,12	25,023
2202,65	31,897
2643,18	38,899
3524,24	51,763
3841,43	62,034
3841,40	74,703

**ENSAYO DE FLEXIÒN EN VIGAS**



<b>CARGA MÀXIMA (N)</b>
3841,4

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**TRABAJO DE GRADO**

**FORMATO A3**

Fecha: Julio 10 de 2014

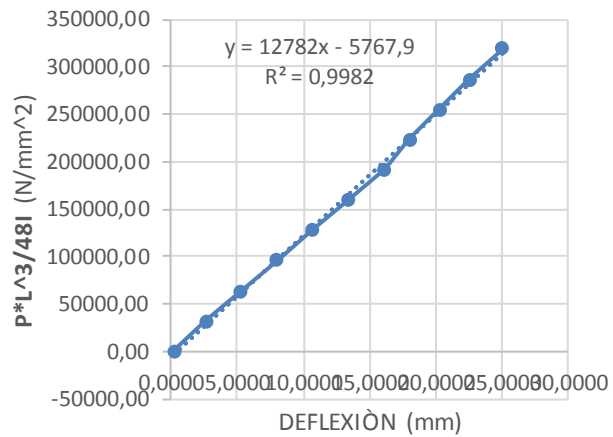
**MUESTRA**

**FL-11**

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS**

<b>P*L<sup>3</sup>/48I (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>
0,00	0,2090
31905,38	2,6570
63810,75	5,3210
95716,13	8,0040
127621,51	10,6400
159526,89	13,3870
191432,26	16,1420
223337,64	18,0210
255243,02	20,3220
287148,39	22,5220
319053,77	25,0230
398817,21	31,8970
478580,66	38,8990
638107,54	51,7630
695537,22	62,0340
695532,96	74,7030

**VIGA LAMINADA - LONGITUD 3 METROS**



I Pino	999213,12	(mm <sup>4</sup> )
I Guadua	1807026,73	(mm <sup>4</sup> )
I total	2806239,85	(mm <sup>4</sup> )

ANEXO E

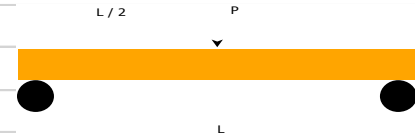
FORMATOS A1 – A2 – A3 – (PROBETA FL – 12)

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA					
TRABAJO DE GRADO					
<b>FORMATO A1</b> <b>MUESTRA</b> <b>FL-12</b>					
ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS					
VIGA LAMINADA - LONGITUD 3 METROS					
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> Cilindro hidráulico, Bomba hidráulica, manómetro, deformímetro y calibrador.					
Fecha: Julio 10 de 2014					
P	EP	$\Delta\mu$	$\Delta y$	MRL	$\xi_{LPP}$
(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
6572,75	8926,00	100,20	72,89	82,94	21,15
D	b	h	e	CH	$\Delta$ adm.
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(L/200)-(mm)
1,37	40,29	64,40	28,1	9,60	14,50
$\xi_{LPG}$	$\xi_{màxP}$	$\xi_{màxG}$	hT	EG	
(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	
132,97	22,54	141,71	92,50	29968,00	
P	Carga Máxima			$\xi_{LPP}$ Esf. del pino en el límite Proporcional	
L	Luz entre apoyos			D Ductilidad del Material	
EP	Módulo Elasticidad pino			b Ancho de la probeta	
$\Delta\mu$	Deflexión Máxima			h Alto del alma de pino	
$\Delta y$	Deflexión Elástica			CH Contenido de Humedad	
MRL	Módulo de rotura			$\xi_{LPG}$ Esf. de la guadua en el lím. Propor.	
e	Espesor lámina de guadua			$\xi_{màxP}$ Esfuerzo Máximo del pino	
$\Delta$ adm.	Deflexión Admisible			$\xi_{màxG}$ Esfuerzo Máximo de la guadua	
hT	Altura total probeta			Eg Módulo Elasticidad guadua	
LUZ ENTRE APOYOS (mm)				CARGA ELÁSTICA (N)	
2900				6167,43	

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**  
**TRABAJO DE GRADO**

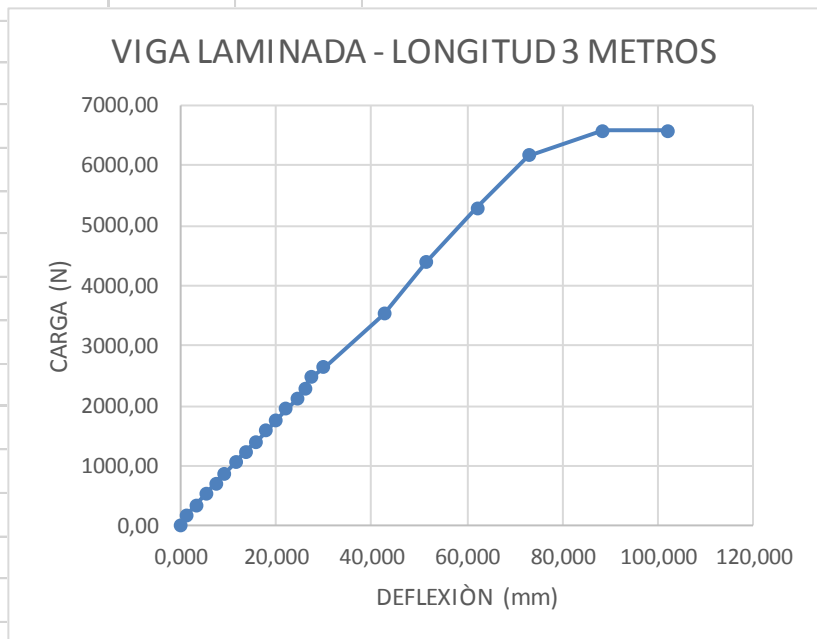
**FORMATO A2**  
**MUESTRA**  
**FL-12**

Fecha: Julio 10 de 2014



Carga (N)	Deflexiòn (mm)
0,00	0,005
176,21	1,378
352,42	3,224
528,64	5,288
704,85	7,302
881,06	9,289
1057,27	11,509
1233,49	13,671
1409,70	15,777
1585,91	17,883
1762,12	19,989
1938,33	22,089
2114,55	24,303
2290,76	26,070
2466,97	27,300
2643,18	29,990
3524,24	42,704
4405,30	51,487
5286,37	62,101
6167,43	72,890
6572,71	88,503
6572,75	102,000

**ENSAYO DE FLEXIÒN EN VIGAS**



<b>CARGA MÀXIMA (N)</b>	
<b>6572,75</b>	

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**TRABAJO DE GRADO**

**FORMATO A3**

Fecha: Julio 10 de 2014

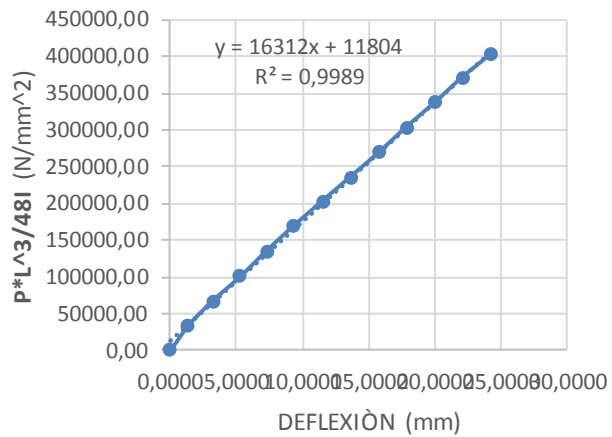
**MUESTRA**

**FL-12**

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS**

<b>P*L<sup>3</sup>/48I (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>
0,00	0,0050
33693,60	1,3780
67387,21	3,2240
101080,81	5,2880
134774,41	7,3020
168468,01	9,2890
202161,62	11,5090
235855,22	13,6710
269548,82	15,7770
303242,42	17,8830
336936,03	19,9890
370629,63	22,0890
404323,23	24,3030
438016,84	26,0700
471710,44	27,3000
505404,04	29,9900
673872,05	42,7040
842340,07	51,4870

**VIGA LAMINADA - LONGITUD 3 METROS**



I Pino	896754,62	(mm <sup>4</sup> )
I Guadua	1760549,25	(mm <sup>4</sup> )
I total	2657303,87	(mm <sup>4</sup> )



ANEXO F

FORMATOS A1 – A2 – A3 – (PROBETA FL – 13)

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA					
TRABAJO DE GRADO					
<b>FORMATO A1</b> <b>MUESTRA</b> <b>FL-13</b>					
		<b>ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS</b> <b>VIGA LAMINADA - LONGITUD 3 METROS</b>			
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> Cilindro hidráulico, Bomba hidráulica, manómetro, deformímetro y calibrador.					
Fecha: Julio 10 de 2014					
<b>P</b>	<b>EP</b>	<b><math>\Delta\mu</math></b>	<b><math>\Delta y</math></b>	<b>MRL</b>	<b><math>\xi_{LPP}</math></b>
(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
5356,88	8926,00	99,00	75,65	65,30	17,78
<b>D</b>	<b>b</b>	<b>h</b>	<b>e</b>	<b>CH</b>	<b><math>\Delta adm.</math></b>
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(L/200)-(mm)
1,31	41,08	65,40	27,8	9,73	14,50
<b><math>\xi_{LPG}</math></b>	<b><math>\xi_{màxP}</math></b>	<b><math>\xi_{màxG}</math></b>	<b>hT</b>	<b>EG</b>	
(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	
110,47	18,02	111,94	93,20	29968,00	
P Carga Màxima			$\xi_{LPP}$ Esf. del pino en el limite Proporcional		
L Luz entre apoyos			D Ductilidad del Material		
EP Mòdulo Elasticidad pino			b Ancho de la probeta		
$\Delta\mu$ Deflexiòn Màxima			h Alto del alma de pino		
$\Delta y$ Deflexiòn Elàstica			CH Contenido de Humedad		
MRL Mòdulo de rotura			$\xi_{LPG}$ Esf. de la guadua en el lim. Propor.		
e Espesor làmina de guadua			$\xi_{màxP}$ Esfuerzo Màximo del pino		
$\Delta adm.$ Deflexiòn Admisible			$\xi_{màxG}$ Esfuerzo Màximo de la guadua		
hT Altura total probeta			EG Mòdulo Elasticidad guadua		
<b>LUZ ENTRE APOYOS (mm)</b>				<b>CARGA ELÀSTICA (N)</b>	
2900				5286,37	

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**  
**TRABAJO DE GRADO**

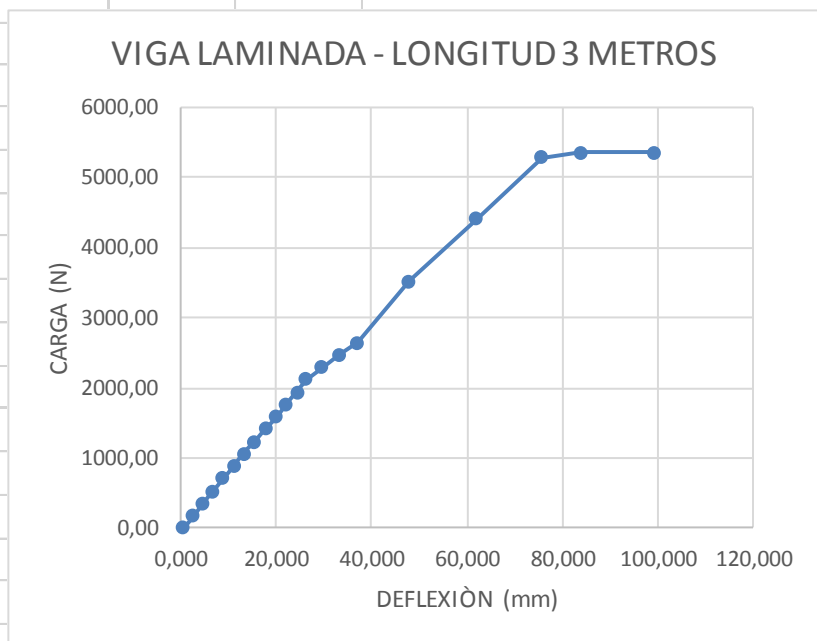
**FORMATO A2**  
**MUESTRA**  
**FL-13**

Fecha: Julio 10 de 2014



Carga (N)	Deflexiòn (mm)
0,00	0,589
176,21	2,679
352,42	4,696
528,64	6,717
704,85	8,885
881,06	11,089
1057,27	13,255
1233,49	15,422
1409,70	17,672
1585,91	19,931
1762,12	22,172
1938,33	24,422
2114,55	26,210
2290,76	29,541
2466,97	33,320
2643,18	37,104
3524,24	47,890
4405,30	62,000
5286,37	75,652
5356,85	84,000
5356,88	99,000

**ENSAYO DE FLEXIÒN EN VIGAS**



<b>CARGA MÀXIMA (N)</b>	
5356,88	

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**TRABAJO DE GRADO**

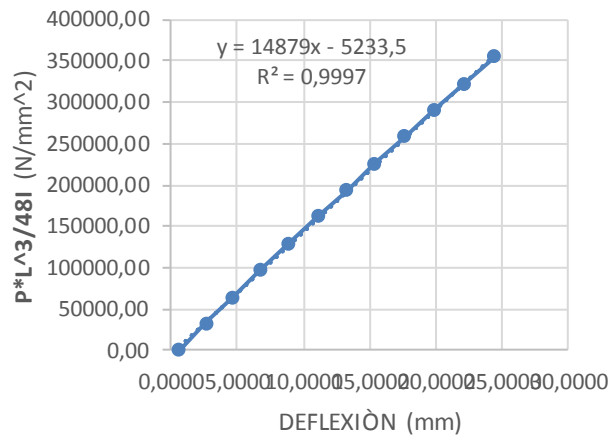
**FORMATO A3**  
**MUESTRA**  
**FL-13**

Fecha: Julio 10 de 2014

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS**

<b>P*L<sup>3</sup>/48I</b> <b>(N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deflexión</b> <b>(mm)</b>
0,00	0,5890
32306,64	2,6790
64613,27	4,6960
96919,91	6,7170
129226,55	8,8850
161533,18	11,0890
193839,82	13,2550
226146,46	15,4220
258453,09	17,6720
290759,73	19,9310
323066,36	22,1720
355373,00	24,4220
387679,64	26,2100
419986,27	29,5410
452292,91	33,3200
484599,55	37,1040
646132,73	47,8900
807665,91	62,0000


**VIGA LAMINADA - LONGITUD 3 METROS**



I Pino	957596,24	(mm <sup>4</sup> )
I Guadua	1813789,16	(mm <sup>4</sup> )
I total	2771385,41	(mm <sup>4</sup> )

ANEXO G

FORMATOS A1 – A2 – A3 – (PROBETA FP – 1)

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA					
TRABAJO DE GRADO					
<b>FORMATO A1</b>					
		<b>MUESTRA FP-1</b>			
ENSAYO DE FLEXIÒN EN VIGAS					
VIGA EN PINO - LONGITUD 3 METROS					
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> Cilindro hidràulico, Bomba hidràulica, manòmetro, deformimetro y calibrador.					
Fecha: Julio 10 de 2014					
P	EP	$\Delta\mu$	$\Delta y$	MRP	$\xi_{LPP}$
(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
4485,08	8926,00	20,28	17,86	23,46	15,64
D	b	h	e	CH	$\Delta adm.$
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(L/200)-(mm)
1,14	41,49	141,58	0,00	10,01	14,50
$\xi_{màxP}$					
(N/mm <sup>2</sup> )					
23,46					
P	Carga Màxima			$\xi_{LPP}$	Esf. del pino en el limite Proporcional
L	Luz entre apoyos			D	Ductilidad del Material
EP	Mòdulo Elasticidad pino			b	Ancho de la probeta
$\Delta\mu$	Deflexiòn Màxima			h	Altura total probeta
$\Delta y$	Deflexiòn Elàstica			CH	Contenido de Humedad
MRP	Mòdulo de rotura			$\xi_{màxP}$	Esfuerzo Màximo del pino
e	Espesor làmina de guadua				
$\Delta adm.$	Deflexiòn Admisible				
LUZ ENTRE APOYOS (mm)				CARGA ELÀSTICA (N)	
2900				2990,06	

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**  
**TRABAJO DE GRADO**

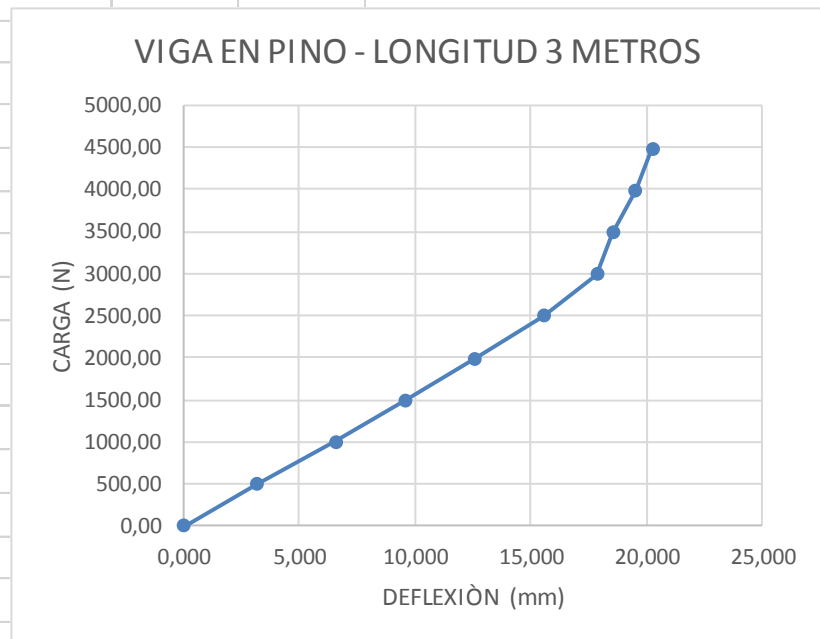
**FORMATO A2**  
**MUESTRA**  
**FP-1**

Fecha: Julio 10 de 2014



Carga (N)	Deflexiòn (mm)
0,00	0,000
498,34	3,150
996,69	6,566
1495,03	9,609
1993,37	12,617
2491,71	15,544
2990,06	17,863
3488,40	18,561
3986,74	19,548
4485,08	20,276

**ENSAYO DE FLEXIÒN EN VIGAS**



<b>CARGA MÀXIMA (N)</b>
4485,08

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**TRABAJO DE GRADO**

**FORMATO A3**

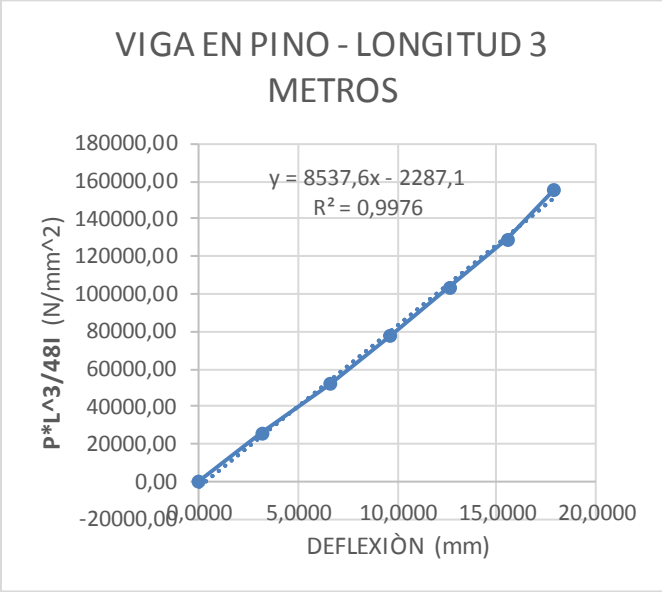
Fecha: Julio 10 de 2014

**MUESTRA**

**FP-1**

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS**

<b>P*L<sup>3</sup>/48I (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>
0,00	0,0000
25805,54	3,1500
51611,08	6,5660
77416,62	9,6090
103222,16	12,6170
129027,70	15,5440
154833,24	17,8630
180638,78	18,5610
206444,32	19,5480
232249,86	20,2760



I Pino	9812234,36	(mm <sup>4</sup> )
--------	------------	--------------------

ANEXO H

FORMATOS A1 – A2 – A3 – (PROBETA FP – 11)

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA					
TRABAJO DE GRADO					
<b>FORMATO A1</b> <b>MUESTRA</b> <b>FP-11</b>					
		<b>ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS</b>			
<b>VIGA EN PIÑO - LONGITUD 2,1 METROS</b>					
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> Cilindro hidráulico, Bomba hidráulica, manómetro, deformímetro y calibrador.					
Fecha: Julio 10 de 2014					
<b>P</b>	<b>EP</b>	<b><math>\Delta\mu</math></b>	<b><math>\Delta y</math></b>	<b>MRP</b>	<b><math>\xi_{LPP}</math></b>
(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
3837,28	8926,00	56,61	53,65	64,84	63,99
<b>D</b>	<b>b</b>	<b>h</b>	<b>e</b>	<b>CH</b>	<b><math>\Delta</math> adm.</b>
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(L/200)-(mm)
1,06	40,60	66,13	0,00	9,85	10,00
<b><math>\xi_{m\grave{a}xP}</math></b>					
(N/mm <sup>2</sup> )					
64,84					
P Carga Mxima			$\xi_{LPP}$ Esf. del pino en el limite Proporcional		
L Luz entre apoyos			D Ductilidad del Material		
EP Mdulo Elasticidad pino			b Ancho de la probeta		
$\Delta\mu$ Deflexin Mxima			h Altura probeta		
$\Delta y$ Deflexin Elstica			CH Contenido de Humedad		
MRP Mdulo de rotura			$\xi_{m\grave{a}xP}$ Esfuerzo Mximo del pino		
e Espesor lmina de guadua					
$\Delta$ adm. Deflexin Admisible					
<b>LUZ ENTRE APOYOS (mm)</b>				<b>CARGA ELSTICA (N)</b>	
2000				3787,40	

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**TRABAJO DE GRADO**

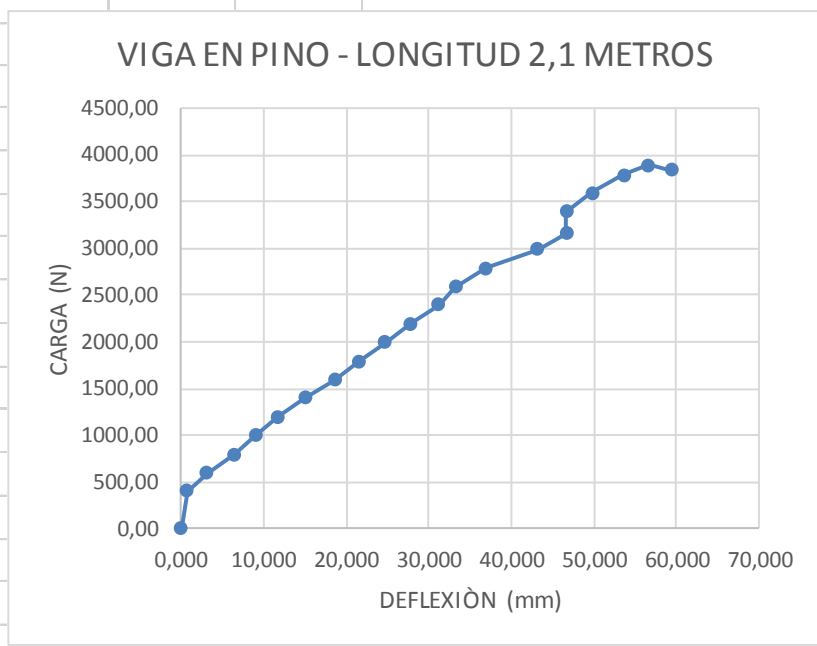
**FORMATO A2**  
**MUESTRA**  
**FP-11**

Fecha: Julio 10 de 2014



Carga (N)	Deflexiòn (mm)
0,00	0,000
398,67	0,731
598,01	3,121
797,35	6,492
996,69	9,082
1196,02	11,744
1395,36	15,035
1594,70	18,618
1794,03	21,675
1993,37	24,789
2192,71	27,870
2392,04	31,237
2591,38	33,268
2790,72	37,009
2990,06	43,148
3157,85	46,602
3388,73	46,602
3588,07	49,779
3787,40	53,649
3887,07	56,613
3837,28	59,307

**ENSAYO DE FLEXIÒN EN VIGAS**



<b>CARGA MÀXIMA (N)</b>	
<b>3837,28</b>	



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**TRABAJO DE GRADO**

**FORMATO A3**

Fecha: Julio 10 de 2014

**MUESTRA**

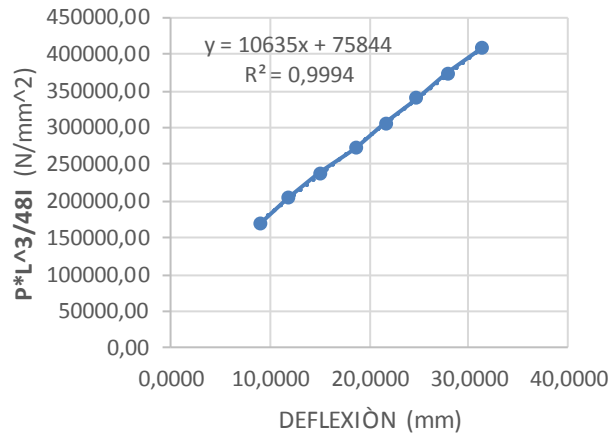
**FP-11**

**ENSAYO DE FLEXIÒN EN VIGAS**

<b>P*L<sup>3</sup>/48I</b> <b>(N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deflexiòn</b> <b>(mm)</b>
---	---------------------------------

0,00	0,0000
67908,87	0,7310
101863,30	3,1210
135817,73	6,4920
169772,17	9,0820
203726,60	11,7440
237681,04	15,0350
271635,47	18,6180
305589,90	21,6750
339544,34	24,7890
373498,77	27,8700
407453,20	31,2370
441407,64	33,2680
475362,07	37,0090
509316,50	43,1480
537898,63	46,6020
577225,37	46,6020
611179,81	49,7790


**VIGA EN PINO - LONGITUD 2,1 METROS**



I Pino	978453,87	(mm <sup>4</sup> )
--------	-----------	--------------------

ANEXO I

FORMATOS A1 – A2 – A3 – (PROBETA FP – 12)

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA					
TRABAJO DE GRADO					
<b>FORMATO A1</b>					
<b>FP-12</b>					
ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS					
VIGA EN PINO - LONGITUD 3 METROS					
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> Cilindro hidráulico, Bomba hidráulica, manómetro, deformímetro y calibrador.					
Fecha: Julio 10 de 2014					
P	EP	$\Delta\mu$	$\Delta y$	MRP	$\xi_{LPP}$
(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
636,38	8926,00	20,56	20,56	15,63	15,63
D	b	h	e	CH	$\Delta$ adm.
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(L/200)-(mm)
1,00	40,76	65,91	0,00	10,02	14,50
$\xi_{m\grave{a}xP}$					
(N/mm <sup>2</sup> )					
15,63					
P	Carga Mxima			$\xi_{LPP}$	Esf. del pino en el límite Proporcional
L	Luz entre apoyos			D	Ductilidad del Material
EP	Mdulo Elasticidad pino			b	Ancho de la probeta
$\Delta\mu$	Deflexin Mxima			h	Alto de la probeta
$\Delta y$	Deflexin Elstica			CH	Contenido de Humedad
MRP	Mdulo de rotura			$\xi_{m\grave{a}xP}$	Esfuerzo Mximo del pino
e	Espesor lmina de guada				
$\Delta$ adm.	Deflexin Admisible				
<b>LUZ ENTRE APOYOS (mm)</b>				<b>CARGA ELSTICA (N)</b>	
2900				636,37623	

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**  
**TRABAJO DE GRADO**

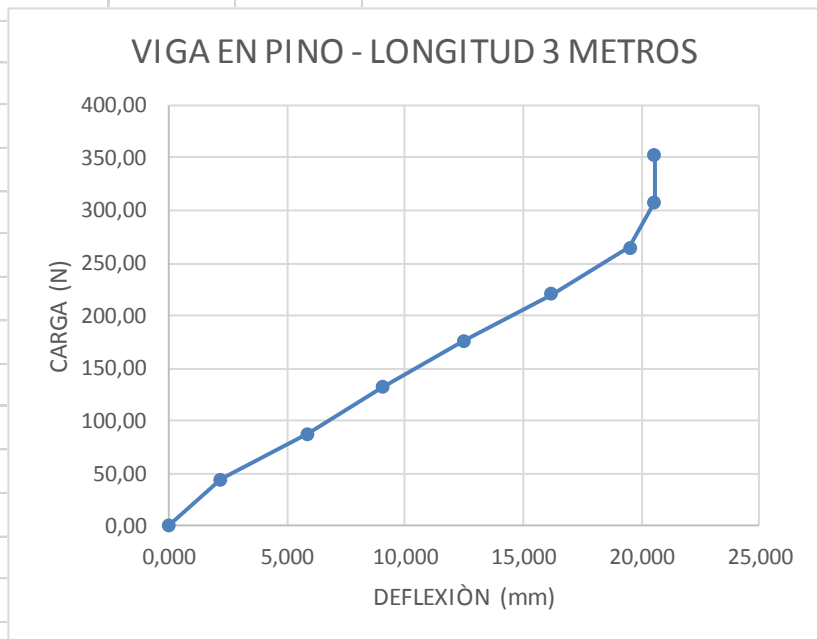
**FORMATO A2**  
**MUESTRA**  
**FP-12**

Fecha: Julio 10 de 2014



Carga (N)	Deflexiòn (mm)
0,00	0,000
44,05	2,211
88,11	5,880
132,16	9,023
176,21	12,534
220,27	16,203
264,32	19,510
308,37	20,553
352,42	20,563

**ENSAYO DE FLEXIÒN EN VIGAS**



<b>CARGA MÀXIMA (N)</b>
636,37623

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**TRABAJO DE GRADO**

**FORMATO A3**

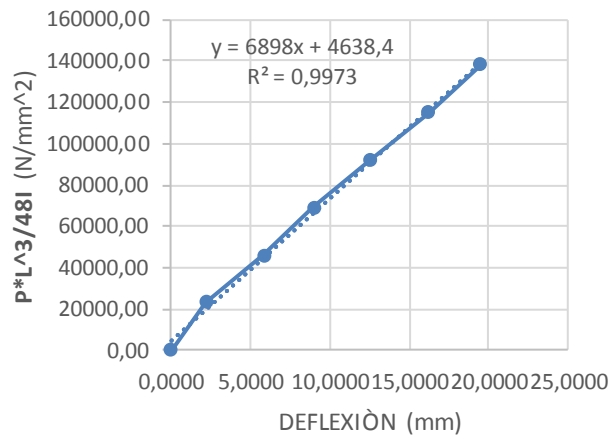
Fecha: Julio 10 de 2014

**MUESTRA  
FP-12**

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS**

<b>P*L<sup>3</sup>/48I (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>
0,00	0,0000
23015,57	2,2110
46031,15	5,8800
69046,72	9,0230
92062,30	12,5340
115077,87	16,2030
138093,45	19,5100
161109,02	20,5530
184124,59	20,5630

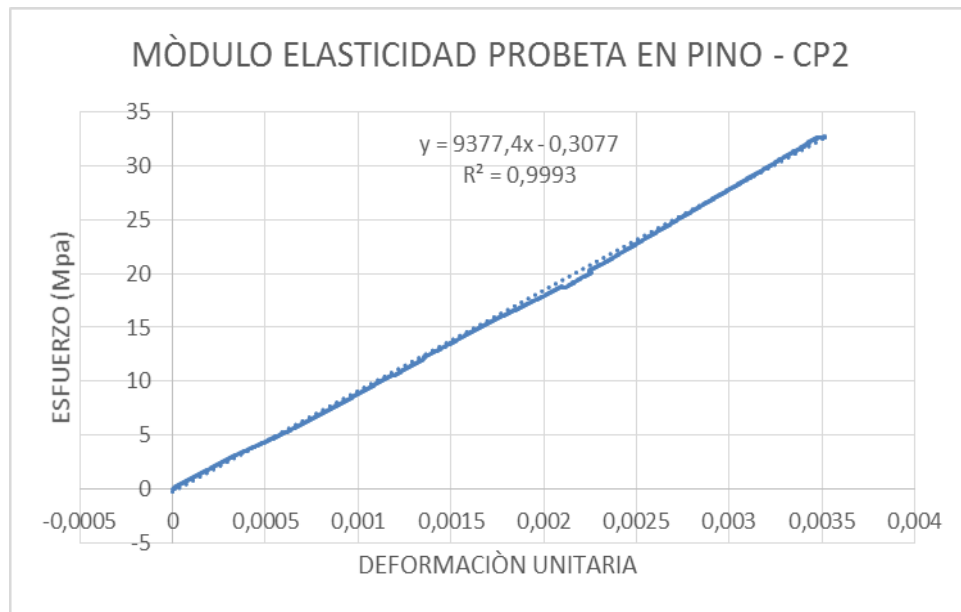
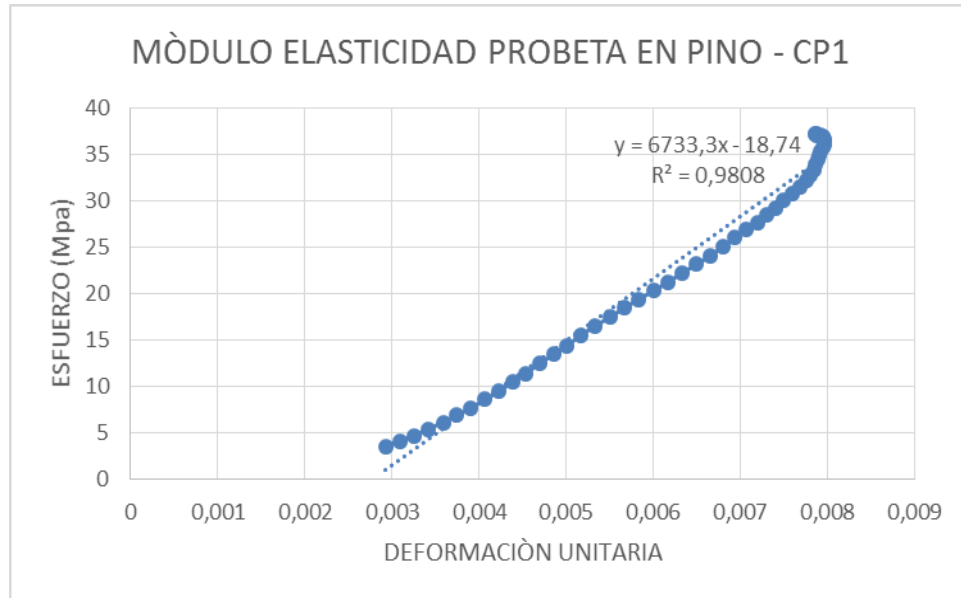
**VIGA EN PINO - LONGITUD 3 METROS**



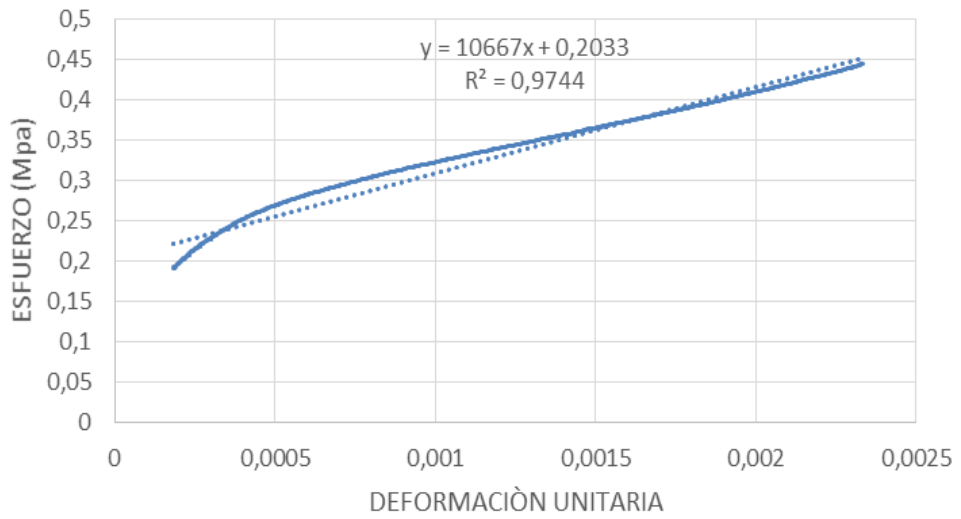
I Pino	972538,64	(mm <sup>4</sup> )
--------	-----------	--------------------

## ANEXO J

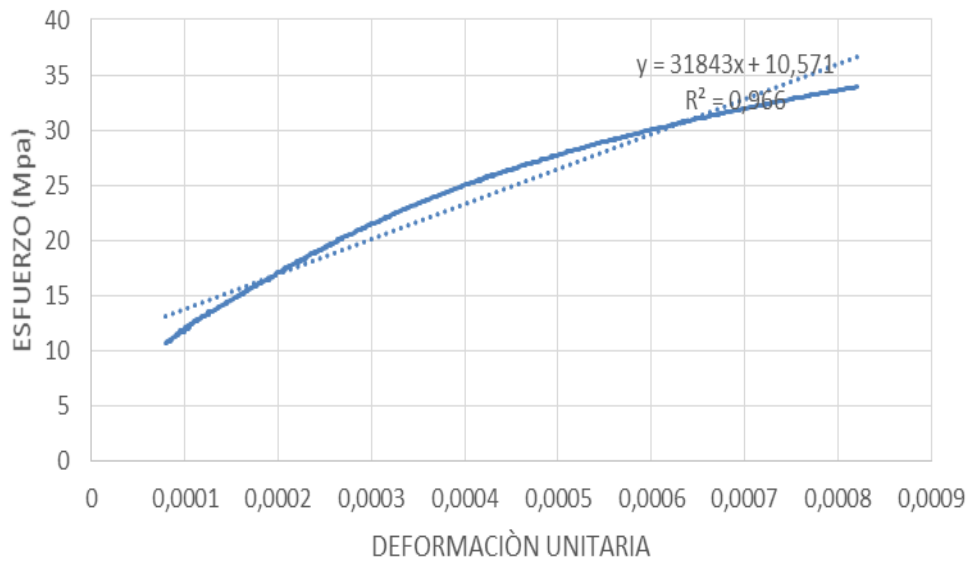
### GRÁFICOS PARA DETERMINAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN DE LA GUADUA Y DEL PINO RADIATA



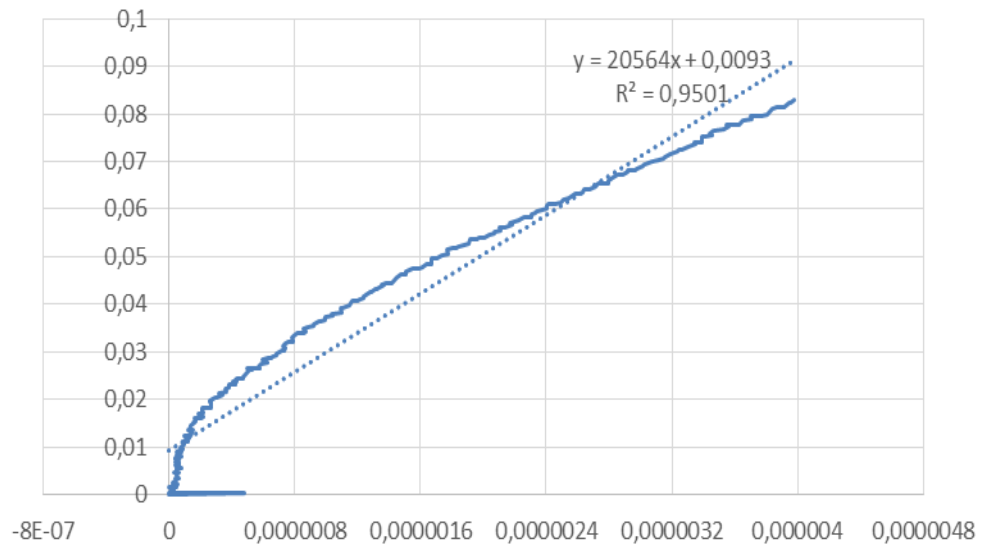
### MÒDULO ELASTICIDAD PROBETA EN PINO - CP3



### MÒDULO ELASTICIDAD PROBETA EN GUADUA - CG1



### MÒDULO ELASTICIDAD PROBETA EN GUADUA - CG2



### MÒDULO ELASTICIDAD PROBETA EN GUADUA - CG3

