



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA EL GRADO DE

MAGISTER EN CONSTRUCCIÓN EN MADERA

**ESTUDIO TÉCNICO PARA EL DESARROLLO DE BAMBÚ (*GUADUA
ANGUSTIFOLIA KUNTH*) DE SECCIÓN TRANSVERSAL TRIANGULAR
(MODIFICADA) PARA FABRICAR VIGAS LAMINADAS EN COLOMBIA.**

AUTOR: BARRETO CASTILLO, WALTER MAURICIO

Profesor guía: Rojas Espinosa, Gerson (PhD)

CONCEPCIÓN, CHILE, JUNIO 2017

A la memoria del arquitecto Oscar Hidalgo López

Agradecimientos:

A Dios, mi familia, mis amigos, mi profesor guía y a todos los asesores en Chile y en Colombia por el apoyo.

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1. Diámetros característicos de Guadua Angustifolia K. (mm)	12
Tabla No. 2. Espesores de pared del culmo para la especie Guadua Angustifolia Kunth (mm)	13
Tabla No. 3 Volumen según el diámetro.....	13
Tabla No. 4 Distribución de costos de producción de vigas laminadas de G. Angustifolia K.....	18
Tabla No. 5 Propiedades mecánicas de laminados de bambú guadua	19
Tabla No. 6. Valores recomendados para los parámetros de la sierra de disco	22
Tabla No. 7 Datos técnicos necesarios sobre el crecimiento del culmo.....	31
Tabla No. 8 Condiciones de sitio.....	32
Tabla N 9. Condiciones del sitio del rodal	38
Tabla No. 10 Velocidad de crecimiento	39
Tabla No. 11 dimensiones del prototipo de madera en mm	42
Tabla No. 12. Dimensiones del prototipo de metal en mm	42
Tabla No. 13 Dimensiones del ensayo en (mm).....	43
Tabla No. 14. Dimensiones del culmo aplicando la ecuación (mm).....	43
Tabla No. 15 Reducción de los costos comparativo	46

LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1 Localización del eje cafetero en Colombia	5
Figura N° 2. Renuevo y ramas apicales al fondo	6
Figura No. 3. Fase temprana	6
Figura No. 4 Fase madura	7
Figura No. 5 Fase seca.....	7
Figura No. 6 Sistema subterráneo	9
Figura No 7 Culmo.....	10
Figura No. 8 Hojas Caulinares.....	10
Figura No. 9 Yemas.....	11
Figura No. 10 Hojas de la rama.....	12
Figura No. 11 Frecuencia de cocientes entre diámetro y espesor	14
Figura No. 12 Corte transversal de un haz vascular G. Angustifolia K.....	15
Figura No. 13 Fibras del tabique,	15
Figura No. 14 Latas obtenidas del culmo	17
Figura No. 15 Vigas laminadas en G. Angustifolia.....	18
Figura No. 16 Trasformacion del culmo en tablillas	20
Figura No. 17 Sierra de disco paralelo.....	20
Figura No. 18 Prensa con cuchillas radiales	21
Figura No. 19 Sierra móvil de disco doble.....	21
Figura No. 20. Deformación longitudinal.....	25
Figura No. 21 Deformación transversal	25

Figura No. 22 Bambú cuadrado (<i>Chimonobambusa quadrangularis</i>).....	27
Figura No. 23 <i>G. Angustifolia</i> K. de sección cuadrada.....	28
Figura No. 24 Esquema de medición de la altura del culmo	33
Figura No. 25 Medición del diámetro en el renuevo	33
Figura No. 26 Esquemas de producto no conforme	36
Figura No. 27 Scanner y sistema CAD	37
Figura No. 28 Medición de la velocidad de crecimiento	39
Figura No. 29. Formas propuestas y centro de gravedad.....	41
Figura No. 30 Dibujo y medición CAD.....	44
Figura No. 31 Prototipos ensayados de madera (a) y de metal (b).....	45
Figura No. 32 Líneas de pega en 1m ³ de viga laminada (a escala)	46

LISTA DE GRÁFICOS Y FÒRMULAS

Gráfico No. 1 Proceso de diseño

Fórmula No.1 Volumen obtenido a partir de un cilindro hueco

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Fórmula para hallar el área útil de la sección circular

Anexo 2 Diámetros y espesores Stamm, 2002.

Anexo 3 Diámetros y espesores Takeuchi, y Cortés, (2012)

Anexo 4 Método para relacionar perímetro y lado del molde

Anexo 5 Diseño del molde metálico

DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Culmo: Tallo, tronco o parte superior de gramíneas como el bambú visibles encima del suelo.

Tablillas: Bloques de forma prismáticos de lados paralelos, obtenidos de la transformación del culmo con proceso de corte, cepillado, pulido y lijado. También es común el término lamelas.

Latas: Producto del corte longitudinal del culmo sin procesos de cepillado, pulido o lijado.

Renuevo: Primera fase del ciclo vegetativo del culmo, cuando inicia el crecimiento en altura

Rizoma: Raíz o sistema subterráneo de gramíneas como el bambú generalmente no visibles encima del suelo.

Rodal: Agrupación o conjunto de árboles de una misma especie. En las gramíneas un individuo presenta varios culmos. En el caso de *G. Angustifolia K.* puede mezclarse en un rodal con individuos de varias especies. En Colombia es común el término “guadual”

NTC: Norma técnica colombiana del Instituto colombiano de normas técnicas ICONTEC

NSR: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente

RESÚMEN

La tecnología del laminado, pegado, prensado de bambú *Guadua angustifolia Kunth*, requiere en su producción un consumo energético por la transformación de su forma cilíndrica en tablillas planas mediante maquinaria y se obtienen dimensiones de 30 por 8 mm y 40 kg de adhesivo por m³ en promedio. Se planteó reducir el consumo energético y de adhesivo modificando la forma cilíndrica desde el cultivo. La hipótesis es que la *G. Angustifolia K.* en forma triangular produce tablillas del doble de dimensiones y reduce el consumo de adhesivo.

Con el objetivo de demostrar la optimización, se experimentó en campo la transformación de la sección transversal de circular a triangular, comparando las cantidades útiles resultantes y se demostró, una consecuente disminución en el gasto de adhesivo y el aumento del volumen aprovechado.

ABSTRACT

Laminated, pressed, glued bamboo (*Guadua angustifolia Kunth*) requires waste energy by transformation of its cylindrical form in flat slats by machines. Dimensions obtained are 30 by 8 mm, requires 40 kg of adhesive per m³ on average. It was proposed to reduce the waste energy and adhesive modifying its cylindrical form direct in bush. Hypothesis is, *G. Angustifolia K.* in triangular section produces double dimensioned slabs and reduces waste of adhesive and volume used.

In order to prove the optimization, experiment were made in countryside, modifying cross-section from circular to triangular, comparing the useful and resultant losses, a consecutive decrease of inputs, adhesive, and the increase in volume used.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	3
I. MARCO DE REFERENCIA	4
Características de la especie Bambú (Guadua Angustifolia Kunth).....	4
Caracterización de los laminados	17
Antecedentes.....	27
II. METODOLOGÍA.....	31
Aspectos técnicos.....	31
Propuesta de prototipos y del proceso técnico	34
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
Aspectos técnicos.....	38
Diseño, fabricación de prototipos y modificación del proceso.....	40
Análisis los resultados y estudio de la logística.....	44
Incidencia de los resultados en la fabricación de vigas laminadas	45
CONCLUSIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	50
ANEXOS	59

INTRODUCCIÓN

En Colombia el sector de la construcción utiliza el bambú en elementos estructurales como vigas y columnas de puentes y edificaciones menores. También se utiliza para fabricar moldes no recuperables para aligerar concreto. La especie más usada y estudiada es *Guadua angustifolia Kunth*, que es importante por su tradición y significado en la arquitectura (Londoño, 2001). En la construcción su uso está parcialmente reglamentado y normalizado. Es altamente productiva por su tasa de crecimiento de 0,24 m diarios (Londoño, Camayo, Riaño, y López, 2002), y por la edad de corte, ya que su ciclo de cosecha es de tres años (Correal y Arbeláez, 2010) menor comparativamente que el ciclo de algunas maderas andinas. Está demostrado que se puede usar con la tecnología del laminado pegado en elementos estructurales como vigas, proyectándose como alternativa a las maderas andinas, debido a su alta resistencia (Barreto, 2003); (López, 2008) ; (Takeuchi 2014).

La norma colombiana NTC 5829 establece dimensiones estándar para tablillas obtenidas de *G. Angustifolia K.* en la producción de laminados. Estas dimensiones (30 x 13 mm) son debidas al diámetro más frecuente y sección transversal circular del culmo. Asociado a las dimensiones estándar, se presenta el problema del efecto que causa en la fabricación de vigas laminadas para uso estructural, por el volumen sobrante y la superficie a pegar. La generación de subproductos difícilmente reutilizables es de 54% y 62%, según Burbano, (2010) y De Flander, (2005) respectivamente.

Es importante el estudio de los diferentes usos del bambú en la construcción para motivar un ciclo de reforestación y consumo sostenible, en especial el uso del material con tecnologías de punta porque se agrega valor a un

recurso que, además tiene importancia ambiental y social. En Colombia se considera que la *G. Angustifolia K.* es un recurso ambiental y para ser un producto agrícola se necesita aumentar su valor agregado.

Se plantea una hipótesis, según la cual la transformación artificial de la sección transversal mediante un molde triangular equilátero aumenta las dimensiones resultantes de las tablillas para los laminados, y optimiza la técnica para la fabricación de vigas laminadas pegadas para uso estructural. El estudio se centra en el análisis técnico de las variables relativas a la forma y dimensiones del molde. Esta hipótesis se demuestra aplicando una metodología que consiste en diseñar, fabricar y ensayar dos prototipos de moldes en dos culmos, evaluar el resultado y aplicar mejoras. De las conclusiones surgen recomendaciones y nuevas hipótesis para iniciar un proceso de transferencia de tecnología al medio local de Colombia e incluso países andinos como Perú, Ecuador y Venezuela.

Objetivos

Objetivo General

El Objetivo general es estudiar el proceso técnico del desarrollo del culmo del bambú especie *Guadua Angustifolia Kunth* con sección transversal triangular (modificada) para optimizar la fabricación de vigas laminadas en Colombia.

Objetivos específicos

Identificar los aspectos técnicos respecto a la especie y al proceso necesario para la transformación de la sección transversal del culmo.

Desarrollar un diseño de prototipo de molde con la técnica que permita transformar la sección transversal triangular para optimizar la fabricación de vigas laminadas pegadas, prensadas.

Analizar la suma de cantidades de material sobrante y la cantidad de adhesivo a utilizar en la fabricación de 1 m³ de viga laminada.

Alcance

El alcance se limita a la evaluación de un planteamiento técnico de proceso y un prototipo de molde sin antecedente, cuantificando la suma de cantidades de laminado que se pueda obtener del culmo, para demostrar la optimización de material y la cantidad de adhesivo para un 1 m³ de guadua laminada pegada.

I. MARCO DE REFERENCIA

Se refieren a continuación las características de la especie y de la fabricación de vigas laminadas más relevantes para el estudio técnico y logístico. Se actualiza el estado del arte de vigas laminadas, y antecedentes de la técnica de la transformación de la sección transversal del culmo.

Características de la especie Bambú (*Guadua Angustifolia* Kunth)

Las características que se referencian se basan en publicaciones de diferentes autores que tratan aspectos botánicos, anatómicos, y agrícolas que sustentaron el presente estudio.

Taxonomía y distribución

La especie *Guadua Angustifolia* Kunth, es una gramínea que pertenece a la familia de las *Poaceae* subfamilia *Bambusoideae*, genero *Guadua*. Nombres comunes guadúa, tacura, cañáza. Existen en este género más de 30 especies entre otras *weberbauri*, *paniculata* y *amplexifolia* y se distribuyen en América desde México hasta Argentina. *G. Angustifolia* K. fue clasificada en 1822 por Karl Sigismund Kunth. (Londoño, 2001). En Colombia se estiman 51.000 hectáreas, donde la mitad se concentra en una región central denominada eje cafetero (figura No. 1).



Figura No. 1 Localización del eje cafetero en Colombia
(Fuente: elaboración propia)

Ciclo vegetativo

Comprende cuatro fases renuevo, temprana, madura y seca. Un rodal tiene varios culmos en diferentes fases. El tiempo del ciclo por culmo es de cinco años hasta la fase seca.

El renuevo es la primera fase de desarrollo del culmo comprende desde la aparición del rebrote hasta cuando llega a su máxima altura, sin presencia de ramas apicales o superiores; a veces aparecen ramas basales. En esta fase el culmo siempre está cubierto por hojas caulinares tanto en su parte basal, como en su parte apical o superior, tal como se muestra en la Figura N° 2.



Figura N° 2. Renuevo y ramas apicales al fondo
(Fuente: elaboración propia)

En la fase temprana el culmo elimina las hojas caulinares de su parte superior y conserva las ramas basales. Hay presencia de ramas apicales y crece gradualmente el follaje de la planta figura N° 3



Figura No. 3. Fase temprana
(Fuente: elaboración propia)

En la fase madura (Figura N° 4) luego de tres años del renuevo el culmo se cubre de manchas de líquenes, se atenúan las bandas blancas y aparecen algunos musgos en los nudos, no hay hojas caulinares en ninguna parte del

culmo. La resistencia mecánica es mayor que en la fase anterior de acuerdo con Gonzales, Bedoya, y Montoya, (2007) y Correal y Arbeláez, (2010).



Figura No. 4 Fase madura

(Fuente: elaboración propia)

En la fase seca o sobre-madura luego de más de cinco años del renuevo, no hay presencia de follaje y los tallos son de color ocre o amarillo pálido. En este estado pierden su resistencia mecánica y dentro del rodal impide la generación de renuevos (figura N° 5)



Figura No. 5 Fase seca

(Fuente elaboración propia)

Silvicultura y productividad

La silvicultura es el conjunto de técnicas para el manejo de los bosques maderables, es decir, propagación, cultivo, uso y aprovechamiento. En *G. Angustifolia K.* se pueden implementar dos sistemas de manejo, para bosques naturales y para plantaciones nuevas. Las prácticas como desganche, socola y repique garantizan la sostenibilidad del cultivo. El desganche es la poda de ramas basales para mejorar la posibilidad de extraer los culmos. La socola es la eliminación de la población menor para aumentar la entrada de luz y calor y estimular la regeneración de nuevos culmos. El repique es devolver al suelo la biomasa sobrante de la extracción picando para acelerar su descomposición y enriquecimiento del suelo (NTC 5300).

Las condiciones ambientales para el desarrollo del cultivo son: Altura sobre el nivel del mar entre 1300 y 1500 metros. Temperatura entre 20 y 30 grados. Precipitación entre los 1200 y 2100 mm/año. Brillo solar entre 1800 y 2000 horas/año. Suelos areno-limosos y francos arenosos. La productividad de una hectárea está entre 750 y 1000 culmos. Esto se deduce por un porcentaje de aprovechamiento de 30 % dentro de una plantación, y cada una tiene una densidad diferente. Lo más frecuente es una densidad mínima de 2500 culmos por hectárea para ser aprovechada. En una extracción fuera del límite se pierde el equilibrio y se afecta la calidad de los culmos (Camargo, 2006).

Para una producción sostenible se extraen culmos maduros, se deben dejar los renuevos y los jóvenes que son el 10% y 40% respectivamente. Como la densidad por hectárea está entre 1300 y 15000 culmos se debe cosechar únicamente donde la densidad sea mínimo 2500 culmos por hectárea (Camargo, 2006). El inventario forestal se puede determinar usando la norma NTC 5726.

Características macroscópicas

La *G. Angustifolia K.* se divide en dos sistemas, subterráneo y aéreo, en el primero además de las hojas, y ramas, se identifica el culmo del cual se aprovechan cinco zonas, cepa, (primeros 3 metros) basa, (de 3 a 11 metros) sobre

basa (de 11 a 15 metros) varillón (de 15 a 18 metros) y copa (de 20 a 24 metros) según Hidalgo, (2003), Giraldo y Sabogal (1999), y Castaño y Moreno (2004). En el sistema subterráneo o rizoma se reconocen raíces adventicias y fibrosas, son fuertes, abundantes y de la activación de las yemas se generan nuevos rizomas y por ende nuevos culmos, tal como se observa en la Figura No. 6



Figura No. 6 Sistema subterráneo
(Fuente elaboración propia)

El culmo al emerger del suelo lo hace con un diámetro definitivo, alcanza una altura entre 15 y 25 metros, es recto, pero ligeramente arqueado en la punta, es cilíndrico y tiene vacíos interiores entre los tabiques o nudos, lo que forma una pared con diferente espesor. Alrededor de cada nudo aparece una banda blanca, como se muestra en la Figura No. 7 que es una de las características de identificación de la especie según Hidalgo (2003), Giraldo y Sabogal, (1999), Castaño y Moreno (2004).



Figura No 7 Culmo
(Fuente elaboración propia)

Las hojas caulinares de color marrón protegen al culmo y sus yemas durante su crecimiento inicial los primeros meses (figura No. 8). Mientras un culmo conserva las hojas se le consideran como un brote o renuevo. Son de forma triangular, fuertes, con pelillos en la parte exterior y lustroso por el interior se desprenden del culmo, cuando salen las ramas que brotan de las yemas.



Figura No. 8 Hojas Culinarias
(Fuente elaboración propia)

Las yemas aparecen en los entrenudos y dan origen a las ramas apicales y en la cepa ocasionalmente origina ramas basales con espinas. A partir de las yemas (que se ve en la figura No. 9) y ramas apicales y basales se puede propagar el individuo por reproducción vegetativa.



Figura No. 9 Yemas
(Fuente elaboración propia)

Las hojas de las ramas son lanceoladas alternas y simples, su longitud varía entre 80 y 200 (mm), y su ancho entre 15 y 35 (mm), como se muestra en la figura 10. Por el envés presenta vellosidades blanquecinas esparcidas. De su forma y proporción se puede deducir la clasificación de la especie de aquí el nombre *angustifolia* que significa hoja angosta.



Figura No. 10 Hojas de la rama
(Fuente elaboración propia)

Dimensiones del culmo

Algunos autores han reportado los diámetros característicos a la altura del pecho, (D.A.P.) con cuatro diferentes lugares de origen dentro de Colombia. La mayor frecuencia estadística es 100 (mm) en un rango entre 64 y 170 (mm) (tabla1).

Tabla No. 1. Diámetros característicos de *Guadua Angustifolia* K. (mm)

Autor	Media	Mínimo	Máximo
García, (2004)	105	64	158
Stamm, (2002)	115	106	130
Montoya y Morales, (2001)	110	80	130
Takeuchi y Cortés, (2012)	125	110	170

Con respecto al espesor de pared del culmo hueco, el valor con más frecuencia estadística es 14 (mm), y el rango varía entre 14 y 19 (mm). En la tabla No. 2 se presenta el valor promedio y la correspondiente desviación estándar.

Tabla No. 2. Espesores de pared del culmo para la especie *Guadua Angustifolia Kunth* (mm)

Autor	Promedio	Desviación estándar
García, (2004)	16	2
Stamm, (2002)	17	3
Montoya y Morales, (2001)	14	5
Takeuchi y Cortés, (2012)	19	5

Las dimensiones son características para la especie, pero son afectadas por las condiciones del sitio, suelo, temperatura, humedad y pluviometría según Camargo (2006) e Hidalgo, (2003).

Existe un modelo matemático para predecir el volumen neto y la longitud de culmo con base en el D.A.P. (Camargo, 2006). En la norma NTC 5726 se aplica este modelo para hacer predicción. Como muestra la tabla 3, se predice la longitud y el volumen para cuatro diferentes D.A.P.

Tabla No. 3 Volumen según el diámetro

D.A.P. (mm)	Longitud (m)	Volumen Aparente (m³)	Volumen Neto (m³)
90	16,9	0,0642	0,0193
100	18,4	0,0832	0,0247
110	19,9	0,1054	0,0310
120	21,4	0,1310	0,0340

Fuente: Elaboración propia a partir de NTC 5726

Proporción entre el espesor y el diámetro

Según Hidalgo (2003) y Londoño, *et al* (2002), en el culmo el diámetro y el espesor de la pared disminuyen a medida que aumenta la altura. Con base en

los datos del anexo 3 de Takeuchi, y Cortés, (2012) se puede deducir aproximadamente una proporción entre el diámetro y el espesor de la pared del culmo más frecuentes. El espesor está entre 0,14 y 0,18 veces el D.A.P.

Se puede predecir aproximadamente el espesor de pared midiendo únicamente el D.A.P. y multiplicándolo por una constante. Esta constante es un cociente entre el D.A.P. y el espesor. Con 65 datos del anexo 2 de Stamm, (2009) el cociente más frecuente (entre 0,12 y 0,14) se distribuye como se observa en la figura No.11

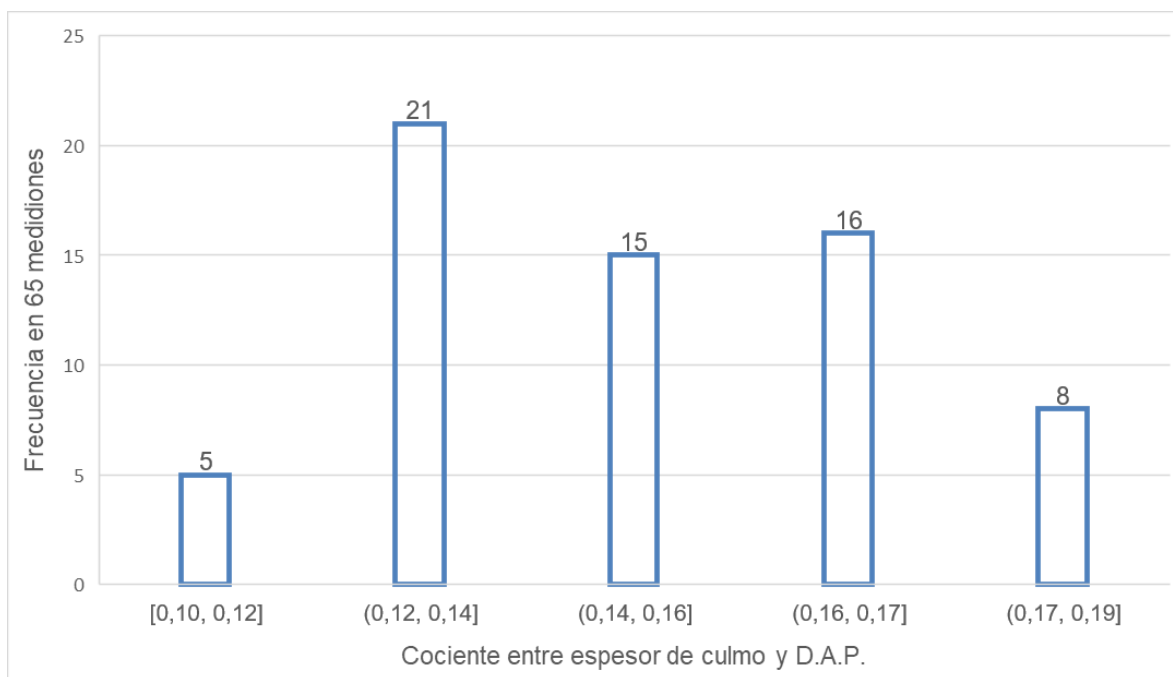


Figura No. 11 Frecuencia de cocientes entre diámetro y espesor

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Stamm, (2009)

Características de la fibra

La estructura del culmo está compuesta por tabiques y paredes cilíndricas. Los tejidos se disponen longitudinalmente en haces vasculares. A medida que se van alejando del centro la cantidad de haces aumentan en número y el diámetro y su distancia es menor. Las fibras tienen entre 0,02 y 0,22 (mm) de diámetro y se

componen de floema y metaxilema (Londoño *et al*, 2002), tal como se observa en la figura No. 12.



Figura No. 12 Corte transversal de un haz vascular *G. Angustifolia K.*
(Fuente: Londoño *et al*, 2002)

Al igual que en las otras especies de bambúes y en las demás monocotiledóneas, no existe ningún tejido radial como si sucede con el tejido de cambium en las dicotiledóneas y en las gimnospermas por lo tanto no hay un engrosamiento secundario (Camargo 2006, Hidalgo 2003).

En el tabique o nudo, los haces pasan directamente desde un entrenudo a otro, en la zona externa se curvan ligeramente y en la zona externa son interconectados con los del diafragma y algunos haces vasculares conectan radialmente la zona interna y externa como se ve en la figura 13. (Liese, 1998)



Figura No. 13 Fibras del tabique,
fuente: Liese, (1998)

Propiedades físicas

La resistencia a esfuerzos físico-mecánicos en la madera y en el bambú es anisotrópicas. En general la resistencia cuando el esfuerzo es paralelo a la fibra es más alta que cuando el esfuerzo es aplicado de forma perpendicular (NTC 1011) En el bambú la resistencia mecánica está asociada a la forma. Con su forma cilíndrica, la resistencia difiere respecto a la forma que toma después de la transformación. En el bambú transformado (latas, esterillas laminados) se reduce la cantidad de fibras resistentes de la zona exterior (Hidalgo 1975).

En materiales de partículas o compuestos de bambú con aglomerantes, como el bambú laminado, contrachapado, hojuelas orientadas (O.S.B.), aglomerado de partículas o trenzado prensado (W.S.B.) las características anisotrópicas cambian en comparación con el material sin transformar (Dagilis, 2001).

La resistencia a esfuerzos mecánicos de tracción, compresión, corte y flexión se puede resumir en términos de esfuerzos admisibles. Por ejemplo, con contenido de humedad 12% la tracción paralela a la fibra es de 18 (MPa) (NSR 10 Título G). Sin embargo, Hidalgo (2003) reporta una resistencia máxima de 321 (MPa) en una muestra sin nudo, zona exterior y tramo superior.

La densidad específica de esta especie recomendada para cálculo del peso es de 800 (kg/m³) (NSR 10 Título G). La densidad o masa por unidad de volumen del bambú guadua en forma de tablilla tiene tres variables. La zona del culmo, la proximidad al exterior y la edad de corte del culmo. El contenido de humedad y la densidad pueden ser determinados experimentalmente por la norma NTC 5525.

La contracción volumétrica presenta una variable, la cantidad de haces vasculares o fibras, que disminuye en diámetro y distancia hacia el exterior. En promedio es de 3.04 % en sentido radial 2.43 % en sentido tangencial.

Caracterización de los laminados

Latas, tablillas y vigas

Las latas son las piezas sin entrenudo obtenidas del primer corte longitudinal del culmo o tallo y donde la sección transversal no es rectangular (ver figura No. 14)



Figura No. 14 Latas obtenidas del culmo
(Fuente elaboración propia)

Las tablillas son las piezas o listones obtenidos del culmo del bambú guadua para la fabricación de laminados estructurales producto del cepillado de las cuatro caras de la lata. Según la norma colombiana NTC 5829 las dimensiones para laminados deben ser de 13 x 30 (mm) las cuales responden al uso final y a la proporción de los culmos que se pueden obtener. Las vigas están formadas por tablillas pegadas en capas sucesivas de manera que las fibras se dispongan paralelas al eje de la pieza, tal como se presenta en la figura No. 15. La

sección transversal de la viga puede ser maciza, en doble T o en cajón, y longitudinalmente en arco, peraltada o articulada.



Figura No. 15 Vigas laminadas en *G. Angustifolia*
(fuente: Takeuchi y Cortés 2012)

Las vigas de bambú guadua no se producen comercialmente en Colombia, su fabricación se encuentra en una fase experimental, sin embargo, de acuerdo con Franco, Prieto, Mesa, y Correal, (2009), el costo de producción por m³ sería de COP \$4'157.667 (US \$2132,13). La distribución de los costos de producción de vigas laminadas se presenta en la tabla No. 4

Tabla No. 4 Distribución de costos de producción de vigas laminadas de *G. Angustifolia K.*

Bambú	49%
Adhesivo	18%
Maquinaria	13%
Mano de obra	20%

Fuente: Franco, *et al* 2009)

El adhesivo usado es resina de melanina (melaminharzleim) que tiene menor impacto ambiental frente al resorcinol, por sus materias primas y mejores resultados que los adhesivos comunes en la industria de la madera. Estos

resultados son “mejores” desde el punto de vista de resistencia en la línea de pega ante corte y alta humedad ambiente (Montoya, J. *et al* (2009)).

Propiedades mecánicas de laminados

En Colombia no está normalizada la utilización, diseño y cálculo de elementos de madera o bambú laminado. La NSR 10 en el título G.9.5 sin embargo, recomienda contenido de humedad 12%, excluye el uso de Polivinil Acetato P.V.A. y establece para el diseño el método de esfuerzos admisibles. La resistencia del material se resume en la tabla 5.

Tabla No. 5 Propiedades mecánicas de laminados de bambú guadua

Esfuerzo	Tangencial (MPa)	Radial (MPa)
Compresión paralela	47,6	
Compresión perpendicular	5,0	6,8
Tracción paralela	132	
Tracción perpendicular	1,5	
Corte o cizalle	9.1	8.9
Flexión	74	87

Fuente: López, (2008)

Transformación primaria.

Las actividades del proceso de transformación primaria son, corte transversal, obtención de latas, maquinado de nudos, secado, corte del ancho y espesor de las tablillas, para dar paso a un proceso secundario. La transformación del culmo en tablillas se muestra en el esquema de la figura No. 16 (a), (b), (c). El corte longitudinal determina el ancho de la tablilla (figura No. 16 b). El corte que determina el espesor con una sierra de discos paralelos (figura No. 16 c). En general se pueden obtener ocho tablillas, pero el número puede variar

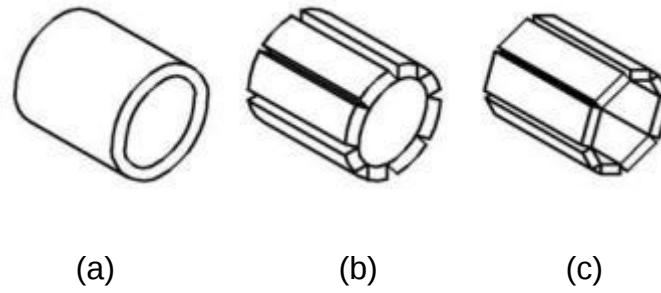


Figura No. 16 Transformación del culmo en tablillas
(elaboración propia)

Tipos de máquinas

Para la obtención de latas se puede usar una sierra de discos paralelos (figura No. 17 a y figura No. 17 b (acercamiento)) que produce tablillas de ancho uniforme y lados paralelos y se debe girar en cada corte el culmo.



(a) (b)

Figura No. 17 Sierra de disco paralelo

También es posible usar para la transformación primaria una sierra de cuchillas radiales (figura 18) que produce simultáneamente latas de ancho variable y caras no paralelas, en esta no se gira el culmo.



Figura No. 18 Prensa con cuchillas radiales
(Fuente elaboración propia)

La tercera alternativa es una sierra móvil de disco doble con motor de combustible como la mostrada en la figura No. 19, que resuelve los problemas del proceso de transformación primaria, transportar las trozas desde el rodal al aserrío, regresar el sobrante del aserrío y que la energía para el motor de la sierra de (4,32 KW) de potencia depende de una red eléctrica urbana.



Figura No. 19 Sierra móvil de disco doble
(fuente Ecobamboo 2009)

La *G. Angustifolia K.* tiene un alto contenido de sílice por esto durante el proceso de transformación primaria, se produce un desgaste en la sierra de disco. Esto trae como consecuencia un afilado y elegir discos con dientes diamantados.

Algunos factores que influyen en el corte son la velocidad de avance, las revoluciones del disco, el número de dientes y el diámetro del disco. Los valores para estos parámetros se muestran en la tabla No. 6 según Micor® (2010) para madera densa.

Tabla No. 6. Valores recomendados para los parámetros de la sierra de disco

Velocidad de avance en metro por segundo	63
Revoluciones por minuto	6000
Diámetro en milímetros	200
Avance en milímetros	0,7
Numero de dientes	40
Angulo de ataque	25°

Fuente: Micor® (2010)

El diámetro debe ser reducido para aumentar la estabilidad y reducir el ancho de corte. El número de dientes del disco afecta el avance de cada diente sobre el bambú, medido en milímetros, un avance menor a 0,7 desgasta los dientes por mayor exigencia y un avance mayor supone menos espacio entre los dientes para evacuar el aserrín y afecta tanto el corte como la durabilidad de los dientes. El número de dientes cortando simultáneamente es de 3 para un espesor de 14 (mm). (Micor® 2010).

Cantidad de laminado en relación con el culmo

El volumen de la materia prima que se puede obtener del bambú se mide con dos técnicas. La primera restando el peso antes y después de procesar. Bolívar y Sepulveda, (2010) aplicaron esta técnica para determinar que el volumen

obtenido es de 43,61% en bambú guadua. La segunda técnica es hallar geométricamente el volumen de un cilindro hueco, y restando el volumen obtenido con la fórmula No. 1 que se obtiene según el anexo 1.

$$Vol = L * n \left(\left(2 \left(\left(\frac{ri}{\cos \alpha} \right) \sin(\alpha) \right) \right) * \left(re - ri - \left(\left(\sqrt{re^2 + \left(\frac{\left(\frac{ri}{\cos \alpha} \right)^2}{2} \right)} - re \right) \right) \right) \right)$$

Fórmula No.1 Volumen obtenido a partir de un cilindro hueco

Secado para laminados

El secado puede ser artificial, al aire libre o mixto. En Colombia la norma NTC 5301 establece el contenido de humedad seco en porcentaje según la aplicación, y localización del uso final. Para vigas laminadas está entre 8% y 18 % según sea uso final.

Existe un modelo matemático que define la curva de secado para esta especie. Para el secado al aire (natural) se requieren 90 días para un obtener un contenido de humedad de 20%. Se puede calcular mediante la fórmula: $y = 132.42e^{-0.018(x)}$, donde y = contenido de humedad que se necesita x = número de días. Montoya y Jiménez, (2006).

Preservación para laminados

Para la *G. Angustifolia K.*, los procesos de preservación son cinco: avinagrado, inmersión, difusión, Boucherie y aspersion. En Colombia la norma NTC 5301 establece las características y procesos de cada uno. Se ha estudiado el método de vacío presión con sales de cobre cromo y arsénico (Salazar, 1996), el ahumado, tratamiento con calor, e inmersión en aceite a alta temperatura (Liese, 2004).

La cosecha y pos cosecha también incide en la preservación. Es favorable cortar cuando la luna está en cuarto menguante, en oscuridad, en época de baja intensidad de lluvia y dejar en el sitio dos semanas en posición vertical con ramas y hojas. (Morán, 2012).

Las variables a controlar que influyen en la preservación son, el contenido de humedad del material, el método de preservación y la anatomía. Según Montoya, y Jiménez (2006) los resultados más favorables, son la inmersión de las tablillas en sales de boro durante 7 días y para culmos el método Boucherie modificado.

La humedad está relacionada con la edad de corte, es favorable a partir de los dos años. En el método de desplazamiento de savia (método Boucherie) e inmersión, el agua libre es reemplazada por las sales siendo favorable una alta humedad inicial. Cuando está seco es necesaria la presión para la absorción del perseverante. (Montoya, y Morales, 2001)

En cuanto a la anatomía, las fibras de bambú desarrollan tejidos de parénquima a medida que pasa el tiempo. No es favorable que los tallos o culmos tengan más de cinco años, la anatomía microscópica cambia y queda menos espacio en el lumen para las sales. Comparada con la madera, la estructura anatómica del bambú es desfavorable por la ausencia de tejidos transversales, fibras cortas que faciliten la penetración y una “dermis” externa casi impermeable. (Liese, 2004).

La mancha azul producida por el hongo *Ceratocystis Pilifera* es muy común en la madera y el bambú. El tratamiento es la inmersión en hipoclorito de sodio, aunque existen métodos bioquímicos eficientes con menor impacto negativo en el ambiente.

Deformación durante el cultivo

Durante el crecimiento, la deformación del bambú es posible longitudinalmente (Figura No. 20) y transversalmente (Figura No. 21). La

deformación longitudinal tiene una aplicación en la fabricación de cerchas a partir de un molde (Hidalgo, 2003).



Figura No. 20. Deformación longitudinal
(fuente Serna, 2010)



Figura No. 21 Deformación transversal
(fuente: Gómez 2000)

La madera tiene en el tronco una diferencia entre el cambium, la albura y el duramen. En el bambú no existe esta diferencia. El diámetro del culmo o tallo en el bambú permanece con el mismo diámetro, en la madera el diámetro aumenta a medida que el cambium produce xilema.

La estructura anatómica de la madera está compuesta por tejidos vasculares, parénquima y fibra. Dentro de los tejidos parénquima están los llamados radios medulares que van desde el interior hacia el exterior. En el bambú no existen tejidos transversales, solamente vasos fibras y parénquima longitudinal, por lo que la resistencia perpendicular durante el crecimiento es baja en comparación con los troncos de los árboles.

El bambú responde modificando la forma de sus fibras constitutivas ante las señales eléctricas que las cargas le inducen causadas por factores externos, según Nogata y Takahashi (1995) citado por Hidalgo (2003). Es decir que a causa del aumento del peso de las ramas y las hojas los haces vasculares crecen siguiendo una geometría que se puede modificar. Los huesos en los vertebrados, en su crecimiento de manera similar, responden a una propiedad que se denomina piezoelectricidad propia de los polímeros que constituyen dichos huesos, es por esto por lo que se modifican durante el crecimiento.

Antecedentes

Transformación de la sección transversal del bambú

Existe en China un bambú del genero *Arundinaria*, de sección cuadrada como muestra la figura No. 22 que de 35 mm de ancho.



Figura No. 22 Bambú cuadrado (*Chimonobambusa quadrangularis*)

Fuente: New Zealand Plant Conservation Network, 2010

La deformación inducida de bambúes se ha documentado para el género *Phyllostachys* por Ueda, (1960) Bess, (2001), Reubens, (2010), Fujiwara, (2000) y Root® (2007) en Japón y Lewis (2002) en Estados Unidos.

Hidalgo, (1975) menciona también el bambú cuadrado japonés. En una detallada descripción explica el proceso y advierte las variables en el desarrollo de la técnica. En resumen, este autor explica que, la sección transversal del culmo en el renuevo tiene el diámetro que tendrá invariable hasta su madurez; entonces el perímetro se divide en cuatro para hallar el lado del cuadrado y distancia interna entre los elementos del molde. El molde consiste en dos tablas unidas con clavos formando un ángulo recto. Los dos ángulos se amarran en la parte superior antes de poner la formaleta en el renuevo. En la parte inferior se amarran los dos ángulos una vez instalada la formaleta en el renuevo, la estabilidad de la formaleta se busca con amarres a los demás culmos. Cuando el culmo supera en altura la

formaleta esta se retira y continúa el crecimiento. Para la sección rectangular se necesitan dos ángulos con un lado mayor al otro.

Hidalgo, (2003) muestra el tratamiento de las manchas originadas entre la formaleta y el culmo, con arcilla húmeda y ácido clorhídrico o sulfúrico. La inexactitud en las distancias internas del molde origina elementos no conformes. También propone como aplicación, arcos de laminado pegado a partir de lamelas obtenidas de la modificación de la sección transversal, vigas compuestas con contrachapado y arcos con lámelas amarradas sin adhesivo (figura No. 23).

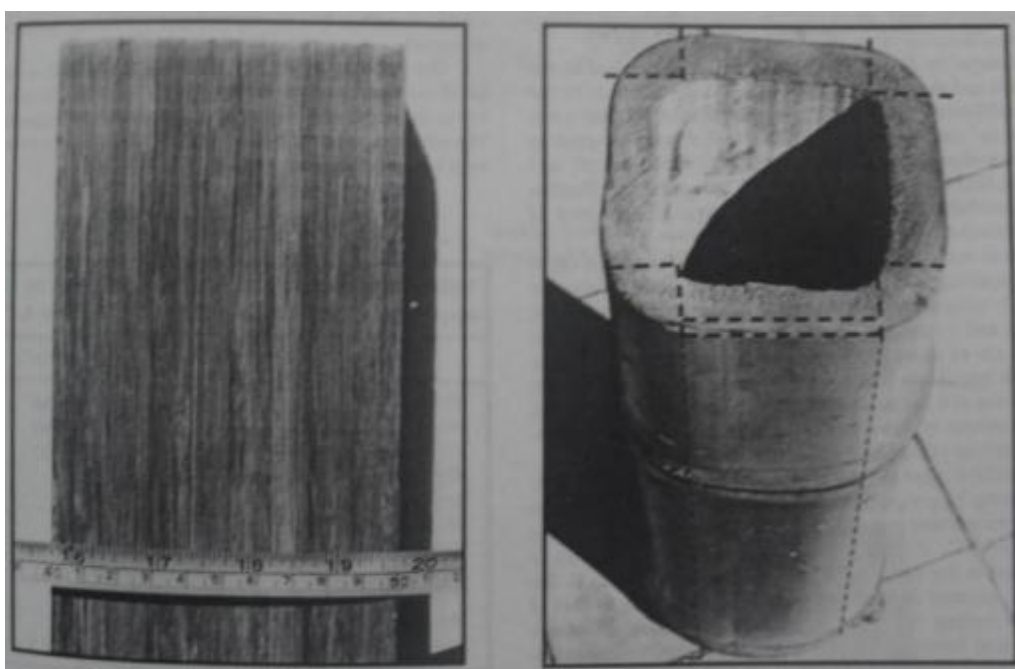


Figura No. 23 *G. Angustifolia* K. de sección cuadrada
(Fuente: Hidalgo, 2003)

Viga laminada pegada prensada

Los antecedentes de la madera laminada inician con Hetzer, en el año 1920 en Alemania. El proceso se extendió rápidamente a otros países principalmente a Suiza, Suecia, Noruega, Austria y Estados Unidos. En 1930, con el desarrollo de productos adhesivos sintéticos se desarrolla la madera

contrachapada usada en la segunda guerra mundial ante la escasez de acero. A parte de tableros de partículas y láminas, el gran desarrollo de la madera laminada pegada está en los elementos estructurales como vigas, que tienen longitudes de hasta 120 metros (Houwink 1973). Las restricciones de tamaño solo están dadas por el transporte y la fabricación.

Los adhesivos estudiados son resinas de Urea formaldehído, Fenol formaldehído, Melamina, Resorcinol y Poliuretano. La resistencia en la línea de pega depende de las condiciones atmosféricas de temperatura y humedad relativa y a las características anatómicas de la especie. En Colombia las primeras estructuras de madera laminada fueron traídas en 1954 de Holanda, actualmente están en el centro de ferias, exposiciones y el laboratorio de ensayos de hidráulica de Bogotá. Algunas especies estudiadas y utilizadas para la fabricación de estructuras en madera laminada pegada son, Chingalé (*Jacaranda copaia*), Teca (*Tectona grandis*), Abarco (*Cariniana pyriformis*), Acacia (*Acacia mangium*) y Pino Pátula (*Pinus patula*) López, Polanco, Bermúdez, (2013).

Los precursores del estudio de la tecnología del bambú laminado, según López, (2008) fueron, Lee *et al.* (1998) y Ando (2000). Desde entonces se han desarrollado productos para acabados arquitectónicos, construcción de estructuras y revestimientos tales como contrachapados (laminated veneer lumber,) compuesto de fibras (mat composites), y madera trenzada de bambú (woven strand bamboo) en Asia Europa y América. Se han usado los géneros *Chusquea*, *Dendrocalamus*, *Guadua* y *Phyllostachys* (Xiao, Y. 2012).

En Chile se ha estudiado el género *Chusquea* para fabricación de muebles y pisos en bambú laminado. (Poblete 2007, Campos, 2006). En Brasil las especies *Bambusa Vulgaris* y *Dendrocalamus Strictus* para paneles estructurales y aglomerados en bambú (Beraldo, 2006, Nogueira 2010). En Ecuador se han estudiado los procesos de laminado, para *Guadua Angustifolia Kunth*, en la fabricación de pisos y tableros. (Manzur, 2006).

Las estructuras de *G. Angustifolia K.* laminada, pegada prensada no son comerciales en Colombia y se encuentran en una etapa de desarrollo e investigación (Sepúlveda, 2009, Franco, et al 2009). Se están desarrollando productos a partir de la tecnología de “WSB Woven Strand Bamboo” y actualmente hay dos empresas de Colombia que fabrican laminados de bambú sobre demanda de productos. Ecobamboo 2012, Induguadua 2012,

Los estudios desarrollados sobre la tecnología al respecto, además de varios estudios de Oscar Hidalgo López son, Takeuchi, C. (2014), y Correal y Arbeláez (2010), López, (2008), con estudios sobre paneles, adhesivos, uniones, dureza y resistencia de vigas laminadas. Durán (2003), Sarmiento, y López (2001), Pedraza y Vanegas (2003), Barreto (2003), Godoy y Catellanos (2007). Takeuchi y Cortés, (2012), Bolívar y Sepúlveda (2010), han estudiado los procesos y máquinas, aplicaciones arquitectónicas y de diseño industrial, Moreno, Trujillo, y Osorio. (2003) han desarrollado estudios sobre maquinaria y fibras, Gonzales, Bedoya, y Montoya, (2007) han estudiado el mercado y los adhesivos.

II. METODOLOGÍA

Aspectos técnicos

Para definir los aspectos técnicos se consideraron las publicaciones que sustentan los datos del crecimiento del culmo como las condiciones de sitio con relación a la transformación de la sección transversal. Estos datos específicamente se resumen en la tabla 7

Tabla No. 7 Datos técnicos necesarios sobre el crecimiento del culmo

Datos		Unidad de medida
Condiciones de sitio	Pluviometría	Promedio en mm anual
	Temperatura	Promedio en grados Celsius anual
	Brillo solar	Promedio en horas de luz anual
	Altura sobre nivel del mar	Metros
Velocidad de crecimiento		Metros por día
Renuevos por área		Porcentaje %
Culmos por área		Unidades por m ²
Diámetro del culmo		Milímetros
Espesor de la pared del culmo		Milímetros
Variación del diámetro en el tiempo		Milímetros día
Dimensiones de la hoja de la rama		Milímetros

Para la identificación de la especie se observaron las bandas de color blanco en el tabique del culmo; la forma de la hoja de la rama, que fuera lanceolada y de 80 a 200 (mm) de largo y entre 15 y 35 (mm) de ancho.

Se contabilizaron todos los renuevos de un rodal y los culmos para hallar el porcentaje de renuevos, se incluyó toda la población del rodal, con este conteo se halló también el dato culmos por área.

Se registraron las condiciones de sitio de un rodal natural, las cuales se tomaron de una publicación oficial del promedio anual para pluviometría, temperatura y brillo solar del lugar del experimento y se comparó con la tabla No. 8 para la especie *G. Angustifolia* K. según García, J. (2004).

Tabla No. 8 Condiciones de sitio

Datos		Unidad de medida
Condiciones de sitio	Pluviometría	1100 y 2100 Promedio mm anual
	Temperatura	20 y 26° grados Celsius Promedio anual
	Brillo solar	1800 y 2200 Promedio horas de luz anual
	Altura sobre nivel del mar	1300 y 1500 Metros

Fuente elaboración propia a partir de García, J. (2004)

Se cuantificó la velocidad de crecimiento de un culmo. Para esto con cinta métrica se midió la distancia (d), desde el punto de observación hasta el culmo y con transportador y plomada se midió el ángulo (α), formado entre la línea desde copa del culmo y el punto de observación y un plano horizontal; como se indica en el esquema de la figura No. 24. Después se midió la altura de observación (h) y

para hallar la altura del culmo. se aplicó la fórmula: **Altura = (Tangente de α * distancia d) + altura h**

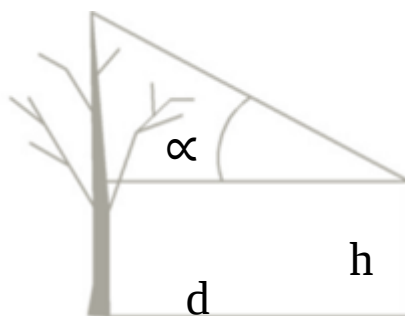


Figura No. 24 Esquema de medición de la altura del culmo

Se repitió la medición cada cuatro semanas hasta que el culmo no aumentó más de altura. Esta altura en metros se dividió en los días correspondientes para expresar la tasa de crecimiento en metros por día. Se registró fotográficamente la secuencia del culmo estudiado.

Se midió la variación del diámetro en el tiempo en cinco culmos. Para esto se midió el perímetro P en el punto donde el rizoma se convierte en culmo como se muestra en la figura No. 25, para lo cual es necesario retirar la capa de suelo necesaria. Este perímetro se divide entre la constante $\pi = 3,1416$ y el resultado es el diámetro. La medición se repitió cada cuatro semanas hasta que el culmo no tuvo más altura. Con esto se obtuvo el dato de variación del diámetro en el tiempo.

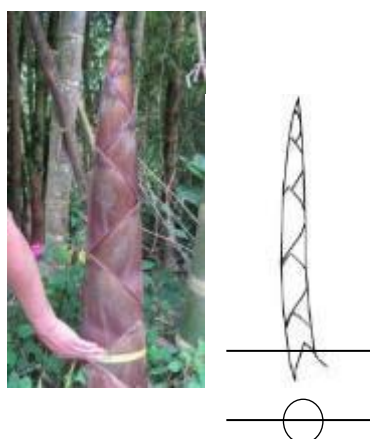


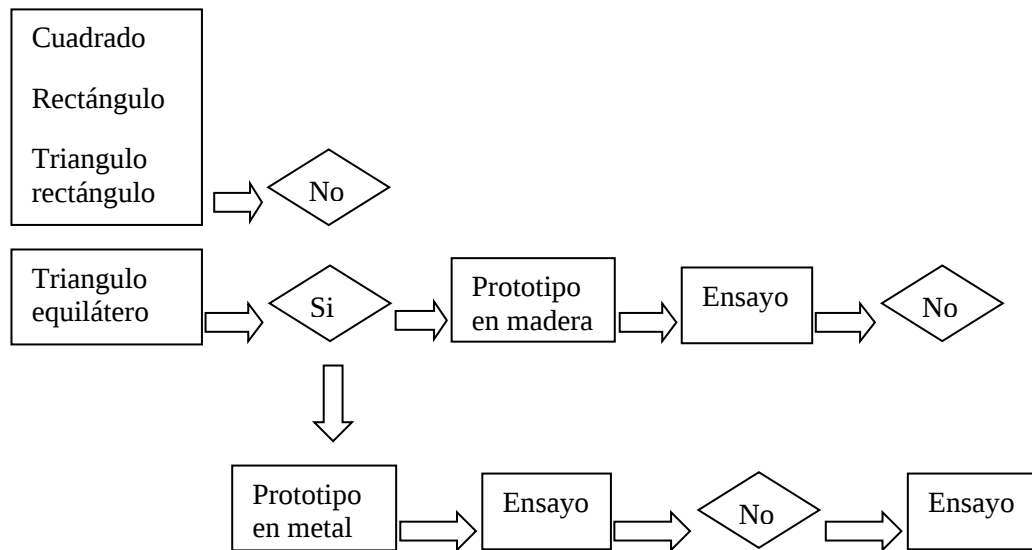
Figura No. 25 Medición del diámetro en el renuevo

Para deducir el espesor de la pared del culmo se multiplicó el diámetro por el cociente más frecuente de relación entre diámetro y espesor, es decir **0,14**, constante entre D.A.P. y espesor de pared de culmo según el análisis del anexo 2

Propuesta de prototipos y del proceso técnico

En el diseño del prototipo del molde para la transformación de la sección transversal, se compararon cuatro figuras geométricas y se escogió finalmente el triángulo equilátero. Se elaboraron planos constructivos y notas de especificaciones de materiales (anexo 5) para fabricar dos prototipos, uno en madera (Oriented strand board O.S.B. de pino de 19 (mm) de espesor) y otro en metal (acero galvanizado calibre 20) de 1,2 (m) de longitud ambos. Con cada uno se hizo un ensayo en un culmo del rodal ya identificado. Se cortó cada uno de los dos culmos ensayados luego de 6 meses el primero y 6 meses el segundo. No se sometió el material a preservación por curado o inmunización, pero se redujo el contenido de humedad secando al aire con las condiciones ambientales del lugar del ensayo, durante 2 meses cada uno. El proceso metodológico de diseño de los prototipos se resume en el esquema del gráfico No. 1

Gráfico No. 1 proceso de diseño



El método para determinar la relación entre los lados del triángulo equilátero y el diámetro del culmo consiste en una propuesta geométrica aplicable a los dos prototipos. Este método resultado del presente estudio se puede ver en detalle en el anexo 4 y de la simplificación de las ecuaciones se obtiene un factor constante de 0,4632.

El proceso para el ensayo se modificó luego de experimentar sin éxito lo descrito por Hidalgo (2003) página 353:

“... El primer paso consiste en tomar la medida de la circunferencia en la parte inferior del tallo (A) cerca de la superficie del suelo. Suponiendo que la longitud de la circunferencia es de 40 cm. Si queremos hacer una sección cuadrada, se divide esta dimensión por 4 y obtenemos 10 cm que es la dimensión interna de cada lado de la forma. Pero si queremos tener una sección rectangular que puede tener dos lados de 12 cm y dos laterales de 8 cm. En este caso, la dimensión interna de la forma es la siguiente: “a” = 12 y “b” = 8 cm (ver figura 21 0.7 C). En el primer caso el ancho de la tabla de madera tiene que ser: 10 cm + el grosor de la tabla de madera...

... Las formaletas están hechas de cuatro tablas que se unen en dos pares de clavos a lo largo del borde formando una “L” (Ver Figura 21.7C.) Las dos secciones L están atadas con una cuerda hecha de una fibra vegetal como el yute o cáñamo (ver figura 21.8.A) La separación de los vínculos es de 30 a 40 cm. Una vez lista la formaleta se coloca sobre el renuevo, y abajo se amarra...”

Se atendió a la relación entre los lados del triángulo equilátero y el diámetro del culmo, asunto fundamental porque asegura que el resultado del ensayo no sea un producto no conforme. El producto no conforme es un culmo sin lados planos como aparece en la figura No. 26.

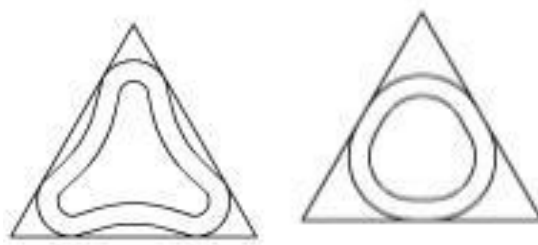


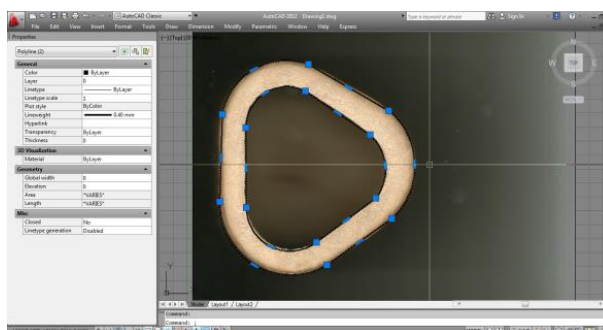
Figura No. 26 Esquemas de producto no conforme

Análisis comparativo del consumo de adhesivo y superficies

El método para sumar la cantidad de material sobrante y de adhesivo, es una comparación entre la forma triangular producto del ensayo y la forma cilíndrica producto de aplicar la fórmula del anexo 4. Primero midió el volumen de las tablillas obtenidas a partir de los dos ensayos y luego se comparó con el volumen de las tablillas calculadas por medio de la fórmula del anexo 4. Para ver la diferencia entre la forma triangular y la forma cilíndrica.

Se cuantificó el peso por área de adhesivo multiplicando este peso por el área necesaria en tablillas con las dimensiones del ensayo y se comparó con el área necesaria las de las tablillas teóricas. Los datos para la suma de cantidad de adhesivo 200 (g /m²) se basan en Takeuchi y Cortés (2012) y Montoya, Hellwig y González, (2008). Con esto se comparó la cantidad de adhesivo a usar entre las formas triangular y cilíndrica.

Para la medición del material resultado del ensayo con la sección triangular (modificada) se cortó transversalmente, (perpendicular el eje) con una sierra de disco tronzadora o ingleteadora cada uno de los dos culmos ensayados. Con un scanner se digitalizó el área de las muestras como se muestra en la figura No. 27 (a) y con un sistema CAD figura No. 27 (b) y se midió el área de sección para tablillas a obtener.



(a) (b)

Figura No. 27 Scanner y sistema CAD

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se relacionan a continuación los resultados del estudio de los aspectos técnicos, el diseño, la fabricación de dos prototipos, la modificación del proceso, la incidencia de los resultados en la fabricación de vigas y el análisis y su discusión de los resultados.

Aspectos técnicos

Las condiciones de sitio en el lugar del experimento se resumen en la tabla No. 9.

Tabla N 9. Condiciones del sitio del rodal

Localización: Cachipay, Cundinamarca Colombia	Altura sobre el nivel del mar msnm	1.600	
	Temperatura en grados	16.8° var.1°	
	Precipitación mm/año	1472.1	
	Brillo solar horas luz/ año	778 y 1308	

Fuente: Cachipay (2000)

El resultado para la tasa de crecimiento fue de 0,19 m diarios en promedio. La tabla No. 10, muestra el resultado de la medición. La altura máxima se midió a las 24 semanas. En la Figura No. 28, se muestra el registro en cuatro tiempos diferentes del crecimiento del culmo.

Tabla No. 10 Velocidad de crecimiento

Semanas	4	8	12	20
Altura en metros	5,1	10	15.2	26.6



Figura No. 28 Medición de la velocidad de crecimiento

El resultado del porcentaje de renuevos por área es de 10% lo que coincide con los estudios de García, J. (2004). La densidad medida en el rodal es de 0,5 culmos por m². La variación del diámetro fue nula en los 24 meses. La media aritmética del diámetro del renuevo fue de 118,4 mm como se muestra en la tabla No. 11.

Tabla No. 11. Resultados obtenidos P y diámetro (mm) de 5 renuevos

Perímetro	Diámetro = $P/3,1416$
360	115
400	127
330	105
430	137
340	108

Se observó que el punto donde el rizoma se convierte en culmo puede variar en el terreno según el espesor de la capa vegetal y el suelo, por lo que para la medición fue necesario retirarlo. Se tuvo en cuenta esta variable, para no afectar la medición del diámetro, de la altura y la estimación de edad del renuevo.

La especie se reconoció por las características de la banda blanca, las hojas caulinares de color marrón y la hoja de la rama de 18 por 140 (mm). La altura máxima en promedio fue de 26.6 (m) a las 20 semanas. El terreno es plano, pero en terreno inclinado debería corregirse el método de medición de la altura. El método también corroboró con el registro fotográfico usando un patrón de medida al lado del culmo.

Diseño, fabricación de prototipos y modificación del proceso.

Se seleccionó el prisma de base triángulo equilátero para la forma del culmo de sección transversal. La dimensión del ancho de la tablilla resultante de cada lado del triángulo equilátero fue mayor a 30 (mm). Se analizó también la forma más estable en su centro de gravedad comparativamente entre cuatro formas posibles tal como muestra el dibujo de la figura No. 29, para evitar que el culmo se deforme longitudinalmente o el molde se someta a esfuerzos innecesarios.

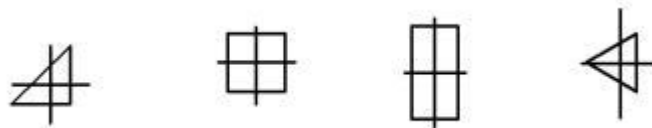


Figura No. 29. Formas propuestas y centro de gravedad

Se propuso una nueva logística mejorada para la transformación de la sección transversal del culmo. Para esta nueva logística se midió el perímetro del renuevo y se multiplicó por 0,478 para hallar el lado del triángulo (factor propuesto en el anexo 4 para este estudio); se cortaron las láminas de madera y se unieron por medio de clavos para el primer prototipo. Para el segundo prototipo en metal, se multiplicó el perímetro medido por 0,486 (factor del anexo 4 corregido) y se ajustaron las láminas, las tuercas y los pernos. En ambos casos se instaló el molde de 1,2 m de altura en el renuevo a 0,3 m del suelo para facilitar la posterior cosecha y se retiró a los 6 días según la tasa de crecimiento (en este caso de 0,19 m diario). Lo contenido en el molde de 1,2 m conservó la sección triangular, luego de retirado el molde y de perder las hojas caulinares. Los culmos pasaron de su fase renuevo a la fase temprana con el resto de la longitud fuera del molde en forma cilíndrica.

El prototipo de madera con las dimensiones que muestra la tabla No. 11 se diseñó y fabricó en láminas de madera (Oriented strand board O.S.B. de pino de 19 (mm) de espesor) unidas de tres clavos de 38,1 (mm) de longitud cada 0.55 m que se doblaron 60° después de clavarlos solamente en una de las tres aristas del molde. Se usaron lazos de polipropileno de 6,35 (mm) de diámetro para amarrar cada 0,55 (m). El resultado es un culmo con la sección transversal triangular modificada, con las tres caras planas.

Tabla No. 11 dimensiones del prototipo de madera en (mm)

Perímetro del renuevo	353
Diámetro del renuevo	112
Tolerancia valor T (anexo 4)	54,8
Lado molde	169
Longitud	1200

El segundo prototipo se diseñó y fabricó en metal (acero galvanizado calibre 20) con las dimensiones expresadas en la tabla No. 12. Con tres uniones en cada uno de los tres vértices del prototipo, con las caras traslapadas y móviles como se ve en el plano vista superior del anexo 5. Se usaron pernos de acero galvanizado de 19,05 (mm) por 6,35 (mm) con tuerca mariposa o de ala. La unión permite ajustar las caras del prototipo para diferentes culmos en un rango de diámetros desde 90 (mm) hasta 140 (mm). El resultado es un culmo con sección transversal modificada con caras planas.

Tabla No. 12. Dimensiones del prototipo de metal en (mm)

Perímetro del renuevo	370
Diámetro del renuevo	117
Tolerancia valor T (anexo 4)	56,6
Lado molde	179,9
Longitud	1200

Como resultado de examinar los dos culmos ensayados, el volumen resultante en promedio para 1 (m) de longitud, de las tablillas fue de 0,0024 (m³). Las dimensiones del culmo ensayado y medido están en la tabla No. 13.

Tabla No. 13 Dimensiones del ensayo en (mm)

Ancho de la tablilla	57
Área transversal total	0,0048 (m ²)
Área transversal útil	0,0024 (m ²)
Diámetro medido en sitio	112
Espesor	13
Perímetro	353
Lado molde	174

Aplicando la fórmula del anexo 1 para el mismo diámetro el volumen del culmo fue de 0,0016 (m³) con las dimensiones que se indican en la tabla No. 14

Tabla No. 14. Dimensiones del culmo aplicando la ecuación (mm)

Ancho de la tablilla	31
Altura tablilla	6
Área transversal total	0.0041 (m ²)
Área transversal útil	0,0016 (m ²)
Diámetro	112
Espesor	13
Perímetro	353

Al comparar los resultados presentados en las tablas No.13 y No.14 se tiene un **33 %** más de volumen de un culmo de sección transversal modificada (triangular) comparado con un culmo de forma cilíndrica sin modificar, con longitud de 1 metro.

Se comprobó que el estudio de las condiciones técnicas como a) las condiciones del sitio, b) velocidad de crecimiento, c) renuevos y culmos por área d) diámetro y espesor de la pared del culmo y e) la variación del diámetro en el tiempo, muestran que es viable técnicamente predecir el proceso (incluyendo

prototipo de molde y logística) propuesto para la técnica en cuestión logrando como resultado un producto conforme a la necesidad de tablillas planas para la fabricación de vigas laminadas. Al estudiar las condiciones en otra especie el resultado debe ser distinto.

Análisis los resultados y estudio de la logística.

Analizando los resultados de aplicar la metodología en los dos ensayos, se debe contemplar una variable adicional, la pérdida de material por el espesor de la sierra circular para el cálculo del volumen teórico propuesto con la fórmula del marco de referencia que se muestra en el anexo 1. Para este estudio se hace la corrección asumiendo 4 (mm) de espesor para el corte por la herramienta. Con el dibujo en CAD que muestra la figura No. 30, se comprobó el cálculo y se validaron los resultados comparativos

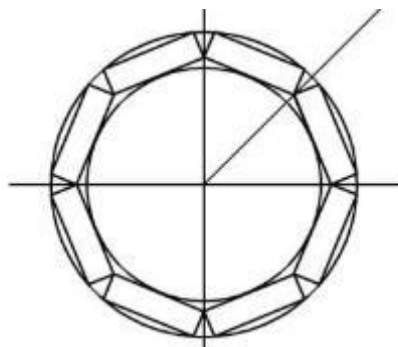


Figura No. 30 Dibujo y medición CAD

Entre el proceso técnico descrito por Hidalgo (2003), Lewis (2002) Fujiwara, (2000) y ROOT® (2007) y la ensayada en este estudio se analizaron dos factores que inciden en la optimización del proceso. El primero es la reducción en el tiempo de fabricación del prototipo de madera, comparado con el molde metálico ya que, se puede reutilizar y no se debe hacer cortes de materiales estando en el rodal cuando se va a moldear cada culmo simplemente se deslizan las tres láminas. El segundo es que el factor constante de **0,486** que multiplica el perímetro del culmo

para definir el lado del triángulo, agiliza la instalación y garantiza las caras planas del culmo modificado.

Los dos prototipos que se muestran en la figura No. 31 (a) y No. 31 (b) difieren en el peso y la durabilidad. La resistencia mecánica ante la presión del culmo en sus 6 días de crecimiento fue admisible en ambos. El amarre con cables del molde al suelo de polipropileno de 6,35 (mm) de diámetro, fue indispensable en mínimo tres puntos, para evitar el vuelco del molde durante el experimento.



(a)

(b)

Figura No. 31 Prototipos ensayados de madera (a) y de metal (b)

Incidencia de los resultados en la fabricación de vigas laminadas

Los resultados comparativos entre los dos tipos de sección transversal circular y triangular en 4 ítems del proceso de fabricación de las vigas laminadas, se muestran en la tabla No 15.

Tabla No. 15 Reducción de los costos comparativo

Reducción de los costos comparativo			
Ítem	Circular	Triangular	Reducción
Cortes longitudinales	32	12	-63%
Adhesivo (kg)	39,8	19,6	-49%
Superficie (m ²) para pulir	199	98	-49%
Material sobrante	60.9%	50%	-10.9%

Se cuantificó la superficie para cortar y pulir. Para 1 m³ de viga laminada, pegada, prensada, el área para cortar y pulir es de 98 m² y en el control teórico es de 199 (m²), esto representa **49%** menos área. La reducción del adhesivo resultó de multiplicar cada área por 200 (g / m²) dando 39,8 (kg / m³) para el primer caso y 19,6 (kg / m³) para el segundo. Con la corrección del volumen por la pérdida de material por el corte, y los análisis de los volúmenes, el material sobrante se reduce en un **10.9%**. Y los números de cortes se reducen también a la mitad. En el dibujo de la figura No. 32 (a) circular y (b) triangular se muestra exactamente a escala la reducción de las líneas de pega en 1 m³ de viga laminada.

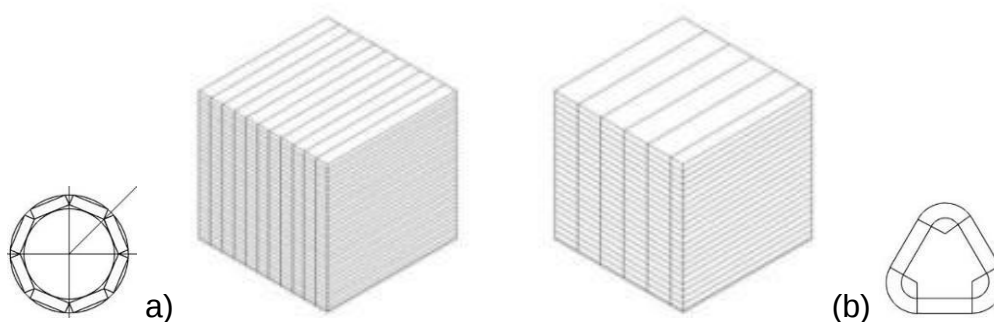


Figura No. 32 Líneas de pega en 1m³ de viga laminada (a escala)

a) circular b) triangular

Los demás medios necesarios que hacen parte de la logística para la producción de *G. Angustifolia* K. de sección transversal triangular (modificada), son los moldes, Para el análisis se tomó en cuenta el valor del material de cada

experimento y se concluyó que es mayor el de metal que el de madera, U\$70 (\$21.300COP) contra U\$ 13,5 (\$41.800 COP) pero el de metal es reutilizable por las dimensiones ajustable a cada culmo y la resistencia a la intemperie. A gran escala es más viable el metálico, pero el peso reduce el tiempo de instalación como se comprobó en lo experimentos, por el transporte.

Para el área de terreno necesaria, se tomó en cuenta el dato de renuevos 10% y culmos por área, 0,5 por (m^2) producto de los resultados técnicos de este estudio. Si para $1 m^3$ son necesarios 416,6 culmos de 1 m. ($0,00244 m^3$ por culmo de 1 m) se necesitan $2083 m^2$ de área para producir $1 m^3$ de viga laminada de *G. Angustifolia K.* de sección transversal triangular (modificada).

CONCLUSIONES

Luego procesar los aspectos técnicos respecto a la especie, se llega a un método geométrico que determina el volumen de tablillas de un culmo de sección circular, y permite comparar los recursos invertidos entre el proceso actual y la innovación propuesta en la producción de estas tablillas para vigas laminadas.

Los dos resultados que concluyen la propuesta de diseño para los dos prototipos y sus respectivos ensayos son, a) el factor de relación **0,4632** (corregido en los experimentos) entre el perímetro del culmo y el lado del triángulo, b) El sistema de unión entre las partes metálicas del molde ajustable a varios diámetros.

A partir de la modificación de la sección transversal triangular del culmo del bambú *G. Angustifolia* K. se obtienen las tablillas del doble del tamaño del estándar.

La suma de material sobrante y la suma de adhesivo para usar con las tablillas producto del experimento con el prototipo diseñado, es menor que en el proceso actual de obtención de tablillas.

RECOMENDACIONES

Continuar el estudio de la técnica haciendo énfasis en dos aspectos a) los materiales del molde para el proceso de transformación, que sean de menor peso y más resistencia y b) el ensamble de componentes para aumentar la altura del molde.

Estudiar y evaluar la factibilidad técnica para otras especies, usando tanto el prototipo como el método de análisis del presente estudio. Otra especie de bambú, por ejemplo, *Dendrocalamus giganteus*

Usar el método geométrico que se desarrolló en este estudio en remplazo del experimento para cuantificar material sobrante y adhesivo usado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AIS (2010). NSR 10 . Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Bogotá. Tomo II. Título G. Estructuras de madera y estructuras de guadua. Capítulo 12. Estructuras de guadua
- Barreto, W. (2003). *Evaluación de guadua laminada pegada aplicada a propuesta de reticulado plano*. Tesis pregrado Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Disponible on line:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/6163/1/waltermauriciobarretocastillo.2003.pdf>
f Consulta 5 de septiembre de 2017
- Beraldo, A. (2006). *Bamboo particleboard glued with castor oil polyurethane*. Simposio latinoamericano de bambu y ratan. Guayaquil Ecuador.
- Bolívar, O., y Sepulveda, A. (2010). *Producción de pulpa celulosa a partir de los residuos del proceso de laminados de guadua angustifolia en Colombia*. Primer simposio de bambú y madera laminada (págs. ISBN: 978-958-719-608-5). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Burbano, S. (2010). *Estudio comparativo de sostenibilidad de tres tipos de producción de guadua para construcción en el eje cafetero y en Ibama, Cundinamarca*. Tesis maestria Bogotá Magister en medio ambiente y desarrollo Universidad Nacional de Colombia. Disponible on line:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/3184/1/696888.2010.pdf> Consulta 5 de septiembre 2017
- Cachipay Cundinamarca (2000) Concejo municipal de Acuerdo no. 015 – 2000. Esquema de ordenamiento territorial.
- Castaño, F., y Moreno, R. (2004). *Guadua para todos. Cultivo y Aprovechamiento*. Bogotá. ISBN: 9589617654. 190 p.

- Correal, J. , Arbeláez, J. (2010) *Influence of age and height position on colombian guadua angustifolia bamboo mechanical properties*. En: *Maderas. Ciencia y tecnología*, 122:105-113 Disponible on line : <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48515279005>. Consulta 5 de septiembre de 2017
- Camargo, J. (2006). *Growth and productivity of the bamboo species Guadua angustifolia Kunth in the Coffee Region of Colombia*. PhD Tesis. Universidad de Göttingen, Göttingen, Alemania.
- Campos, J. (2006) *Utilización e industrialización de bambúes especialmente del género Chusquea. III Simposio latinoamericano de bambu y ratan*. Guayaquil Ecuador.
- Dagilis, T. (1999). *Bamboo composite materials for low-cost housing*. Queen's University. Ph D Tesis Canadá 205 p. Disponible on line: http://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk1/tape8/PQDD_0015/NQ5_4407.pdf Consulta 5 de septiembre de 2017
- Delgado, C. (2000). *Paneles estructurales con láminas de guadua*. Tesis pregrado Bogotá, Facultad de artes. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. 132 p.
- Durán, M. (2003). *Estudio de guadua laminada y su aplicación en sistemas tensegrity*. Tesis de pregrado Facultad de artes. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.
- Ecobamboo. (2009) Disco compacto. Memorias Curso de Capacitación en Construcción con Guadua. (1 - 3 de Diciembre de 2009). Cali, Colombia.
- Ecobamboo. (2012) Ecobamboo Productos Hacienda el Pailon Candelaria Valle del Cauca Colombia. Disponible on line : <http://www.ecobamboo.net/esp/productos.htm> Consulta 5 de septiembre de 2017

- Franco, M., Prieto, J., Mesa, H., y Correal, J. (2009). *Production cost analysis of structural glued laminated guadua* En: Memorias Second International conference on Modern Bamboo Structure.. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Fujiwara. (2000). *Sistema de formacion de bambu cuadrado en el cultivo* 成形竹の作製. Disponible on line : <http://www.tsuyama-ct.ac.jp/fujiwara/molding.htm> Consulta 5 de septiembre de 2017
- Garcia, J. (2004). *Definición de áreas óptimas de calidad de guadua (guadua angustifolia kunt) orientadas a satisfacer el mercado*. Tesis Msc Facultad de ingenieria industrial. Pereira Colombia Universidad Tecnologica de Pereira. 110 p.
- Giraldo, E. y Sabogal, A. (1999). *Una alternativa sostenible: La guadua, técnicas de cultivo y manejo*. Armenia : Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ. 192 p.
- Godoy, S. y Catellanos, S. (2007). *Lambú, parámetros de producción y transformación de la guadua laminada, aplicados al diseño industrial*. Bogotá: Artesanias de Colombia, Ed Ecoediciones. ISBN 978 958 648 508 1 186 p.
- Gomez, I. (2010). Guadua cuadrada. Entrevista. SENA Dos Quebradas Risaralda Colombia
- Gonzales, H., Bedoya, J. y Montoya, J. (2007). *Dureza Brinell y la influencia de la humedad relativa del ambiente, de la edad y la altura a lo largo del tramo en la especie de bambú Guadua angustifolia Kunth*. En: *Scientia Et Technica*, XIII(34) 619-624. Disponible on line:

<http://www.redalyc.org/html/849/84934105/> Consulta 5 de septiembre de 2017

- Hidalgo, O. (1975). *Bambú, su cultivo y aplicación en la fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía*. Estudios técnicos. 318 p.
- Hidalgo, O. (2003). *Bamboo gift of the gods*. Bogotá. ISBN 958 33 4298 X Editorial D VINNI Ltda. 552 p.
- Houwink, S. (1973). *Adherencia y adhesivos. Enciclopedia de la química industrial tomo 4*. Bilbao : Ediciones Urmo, ISBN 84-314-0319-5.
- ICONTEC, (2007). Norma Técnica Colombiana NTC 5525 Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth. Bogotá: ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- ICONTEC, (2007). Norma Técnica Colombiana NTC 5301 Preservación y secado del culmo de guadua angustifolia Kunth.. Bogotá: ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- ICONTEC, (2007). Norma Técnica Colombiana NTC 5829 Obtención de latas y tablillas de guadua angustifolia Kunth. Bogotá: ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- ICONTEC, (2007). Norma Técnica Colombiana NTC 1011 maderas. determinación de los esfuerzos unitarios básicos. Bogotá: ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- ICONTEC, (2007). Norma Técnica Colombiana NTC 5726 inventario de rodales de guadua angustifolia Kunth para aprovechamientos con fines comerciales. Bogotá: ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- ICONTEC, (2007). Norma Técnica Colombiana NTC 5300 Cosecha y postcosecha del culmo de guadua angustifolia Kunth.. Bogotá: ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas.

- Induguadua. (2012). *Induguadua Industria Colombiana de la Guadua*. Disponible on line: <http://www.induguadua.com/index.php> Consulta 5 de septiembre de 2017
- De Flander K. (2005). *The role of Bamboo in Global Modernity:from Traditional to Innovative Construction Material Barriers and Opportunities to the Greater Development and use of Guadua-Bamboo for Construction Products*. Master Thesis Wageningen Holanda Wageningen University. 75 p.
- Lewis, R. (2002). *Squared bamboo- bambú cuadrado*. Disponible on line <http://www.lewisbamboo.com/square.html> Consulta 5 de septiembre de 2017
- Liese, W. (1998). *The anatomy of bamboo culms INBAR Technical Report N° 18*. Beijing, China: International Network for Bamboo and Rattan. ISBN 81-86247-26-2 35 p.
- Liese, W. (2004). *La preservacion del tallo del bambú en relación a su estructura. Simposio internacional guadua 2004* Pereira: Universidad Tecnologica de Pereira. (págs. 9-19). Disponible on line: <http://www.fundeguadua.org/imagenes/DESARROLLOS%20TECNOLOGICOS/ARTICULOS%20Y%20PUBLICACIONES/WALTER%20LIESE.pdf> Consulta 5 de septiembre de 2017
- Londoño, X., (2001). *La Guadua un bambú importante de América*. En: Memorias primer Seminario Bamboo 2001, Guayaquil, Ecuador, Agosto págs 8 –10..
- Londoño, X., Camayo, G., Riaño, N., y López, Y. ,(2002). *Characterization of the anatomy of Guadua angustifolia (Poaceae: Bambusoideae) culms*. En: *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society* 16(1): 18-31 American Bamboo Society. Disponible on line: http://www.bamboo.org/publications/e107_files/downloads/ABSJournal-vol16.pdf Consulta 5 de septiembre de 2017

- López, L., y Correal, J. (2009). *Estudio exploratorio de los laminados de bambú Guadua angustifolia como material estructural*. En: *Maderas. Ciencia y tecnología*, 11(3), 171-182. Disponible on line:
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2009000300001 Consulta 5 de septiembre de 2017
- López, F., Polanco, C., Bermúdez, J. (2013). *Caracterización mecánica estructural para veinte combinaciones de madera laminada encolada*. En *Colombia Forestal*. 16 (2). 138-157 Disponible on line:
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3918/6990>
Consulta 5 de septiembre de 2017
- Lozano, F., y Chavez, A. (2012). *Optimización de la guadua angustifolia kunth en la elaboración de elementos laminados para uso constructivo*. Tesis pregrado Ingeniería Civil Bucaramanga Universidad Industrial de Santander. 133 p.
- Manzur, J. (2006). *La Industrialización integrada de la Guadúa: La primera experiencia en América. Simposio latinoamericano de bambu y ratan*. Guayaquil Ecuador: International Network of Bamboo and Rattan INBAR.
- Micor ®, (2010). *Catálogo de fábrica sierras circulares* Laholm Suecia. Soporte técnico, Velocidad de corte Sierras circulares. Disponible en:
<http://www.micor.se/es/soporte-tecnico/velocidad-de-corte/>.
Consulta 5 de septiembre 2017
- Micor ®, (2010). *Catálogo de fábrica sierras circulares* Laholm Suecia. Aplicaciones, Corte de maderas, Sierras circulares. Disponible en:
<http://www.micor.se/es/aplicaciones/corte-de-maderas/>
Consulta 5 de septiembre 2017
- Montoya, J., (2001). *Investigación Tecnológica en Métodos para la Preservación de la Guadua Angustifolia*. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. En: *Scientia Et Technica* 2008, XIV (38), 443- 448. Disponible on

- line: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903878> . Consulta 5 septiembre 2017
- Montoya, J., y Jimenez, E. (2006). Determinación de la curva de secado al aire libre, mediante modelación matemática y experimental de la Guadua angustifolia Kunth. En: *Scientia et Technica*, XII(30), 415-419. Diponible on line: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920491021> Consulta 5 septiembre 2017
- Montoya, J., Hellwig,S., y González, H. (2008). Resultados del ensayo del modulo de Young y resistencia a la flexion de vigas laminadas de Guadua. En: *Scientia Et Technica*, XIV(40), 291-296. Disponible on line: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920454053>. Consulta 5 septiembre 2017
- Montoya, J., Hellwing, S., y Gónzales, H. A. (2009). Procedure to determine the optimum adhesive for manufacturing timber of bamboo (guadua angustifolia). En: *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* , 7(1),67-75. Version impresa ISSN 1692-356. Diponible on line: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612009000100009&lang=pt Consulta 5 septiembre 2017
- Bess, N. M., & Wein, B. (2001). *Bamboo in japan*. Kodansha International. ISBN 4-77002510 6
- Morán, J. (2012). *Technical report N. 25 Tradittional bamboo preservation metods in Latin America*. Guayaquil: International Network for Bamboo and Rattan - INBAR. Disponible on line: <http://resource.inbar.int/upload/file/1489455969.pdf> Consulta 5 septiembre 2017
- Moreno, Trujillo, y Osorio. (2003). *Caracterizaciòn físico-química de haces de fibra de guadua angustifolia*. Tesis pregrado Universidad Nacional De Colombia - Sede Manizales .

- New Zealand Plant Conservation Network. (25 de 03 de 2010). *Chimonobambusa quadrangularis*. Disponible on line: http://www.nzpcn.org.nz/flora_details.aspx?ID=3653 Consulta 5 septiembre 2017
- Nogueira, C. (2010). *Shear strength evaluation of bamboo laminated structural panel*. En: *Second modern bamboo structures*. Bogotá Universidad de Los Andes Facultad de Ingeniería.
- Pedraza, I., y Vanegas, G. (2003). *Guadua Laminada Investigación, experimentación, aplicación*. Tesis pregrado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia . 137 p.
- Poblete, H. (2007). *Tableros decorativos con Chusquea culeou creciendo en Chile*. En: *Simposio latinoamericano de bambu y ratan*. Guayaquil Ecuador.
- Reubens, R. (2010). *Bamboo in sustentable contemporeary design Working paper No 60*. Beijing China: Inbar International Network for Bamboo and Rattan. 183p. Disponible on line: <http://resource.inbar.int/upload/file/1489549243.pdf> Consulta 5 de septiembre de 2017
- Root®. (2007). Wood an Bamboo glasses (Craftsman handmade glasses sale 【Roots】) Disponible on line: http://www.roots-web.jp/cart/frame_E.html Consulta 5 septiembre 2017
- Salazar, J. (1996). *Inmunización de la guadua*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Cartilla 16 p.
- Sarmiento, A. y Lopez, N. (2002). *Exploración de la guadua como material de uso industrial*. Tesis pregrado Bogotá. Facultad de Artes. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. 172 p
- Sepúlveda, C. (2009). *Guadua Laminada: Material Sismoresistente a Toda Prueba*. En: *Revista MM El mueble y la madera*, Número 71 pág. 34. Editorial árbol de tinta. Bogotá Colombia

- Serna, D. (2010). *Guadua deformada*. Entrevista Santander de Quilichao Valle del Cauca, Colombia
- Stamm, J. (2002). *Laminados de guadua*. En: *Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Takeuchi, C. (2014), *Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural*, PhD Tesis. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. 222 p. Disponible on line:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/46811/1/291494.2014.pdf> Consulta 5 de septiembre de 2017
- Takeuchi, C. y Cortés, J. (2012). *Transformación y producción de guadua laminada pegada prensada*. Tesis Maestria Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Ueda, K. (1960) Studies on the physiology of bamboo with reference to practical Application", En: *Bulletin of the Kyoto University Forests* No. 30 July. 145p.
- Xiao, Y. (2012). *Test Research of Glubam and it's Engineering Application*. En : *Key Engineering Materials* 517, 118-124.

ANEXOS

Anexo 1. Fórmula para hallar el área útil de la sección circular

$$Vol = L * n \left(2 \left(\left(\frac{ri}{\cos \alpha} \right) \sin(\alpha) \right) * \left(re - ri - \left(\left(\sqrt{re^2 + \left(\frac{\left(\frac{ri}{\cos \alpha} \right)^2}{2}} \right) - re} \right) \right) \right)$$

Donde: L= Longitud, n = número de tablillas, $\alpha = \left(\frac{360}{n} \right) / 2$, re = Radio de la circunferencia exterior, ri = Radio de la circunferencia interior.

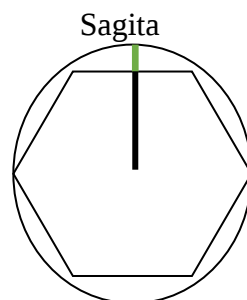
El volumen de un sólido “tubular” es igual al área de la circunferencia mayor, menos el área de la circunferencia menor, por la longitud. El volumen que se puede obtener de un cilindro es la suma de los volúmenes de las tablillas de sección rectangular. La diferencia entre los dos es el material sobrante expresado en porcentaje.

El volumen de una tablilla es la longitud por el área de la sección rectangular; que es igual a base por altura. En este caso para determinar base y altura de la sección rectangular es necesario conocer el número de tablillas y los radios de la circunferencia exterior e interior.

Para determinar la base del rectángulo que define la sección de la tablilla, se calcula por trigonometría el cateto opuesto de un triángulo rectángulo del cual conocemos el radio y el ángulo según el número de tablillas con la fórmula $b = 2 \left(\left(\frac{r}{\cos \alpha} \right) \sin \alpha \right)$, donde b = base del rectángulo o lado del polígono y r = radio de la circunferencia interior.

Para hallar la altura del rectángulo que define la sección de la tablilla como se muestra en la fórmula: $h = e - s$, donde s = sagita, h = altura, e = diferencia

entre los radios de la circunferencia exterior e interior y re = radio de la circunferencia exterior



En este dibujo se muestra en verde la sagita:

$$s = \left(\sqrt{re^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} \right) - re$$

Anexo 2 Diámetros y espesores Stamm. 2002.

Diámetros DAP (mm)	Porcentaje en 65 muestras	Rango de espesores en mm	Porcentaje en 65 muestras
90	5	10	35
100	15	15	42
110	47	30	32
120	15		
130	3		

D.A.P. (mm)	Espesor de la pared del culmo (mm)	Cociente entre Espesor y D.A.P.		D.A.P. (mm)	Espesor de la pared del culmo (mm)	Cociente entre Espesor y D.A.P.
107	11	0,10		118	17	0,14
115	12	0,10		110	16	0,15
115	13	0,11		120	18	0,15
107	13	0,12		130	19	0,15
111	13	0,12		125	19	0,15
102	12	0,12		120	18	0,15
102	12	0,12		98	15	0,15
96	12	0,12		111	17	0,15
108	13	0,12		119	19	0,16
120	15	0,12		124	20	0,16
113	14	0,12		110	18	0,16
128	16	0,13		110	18	0,16
123	16	0,13		116	19	0,16
125	16	0,13		122	20	0,16
116	15	0,13		100	16	0,16
115	15	0,13		124	20	0,16
107	14	0,13		127	21	0,16
99	13	0,13		120	20	0,16
118	16	0,13		122	20	0,16
106	14	0,13		120	20	0,17
113	15	0,13		123	21	0,17
120	16	0,13		122	21	0,17
112	15	0,13		126	22	0,17
112	15	0,13		118	21	0,17
130	18	0,13		120	21	0,18
118	16	0,14		120	22	0,18
116	16	0,14		114	21	0,18
122	17	0,14		111	20	0,18
114	16	0,14		114	21	0,18
114	16	0,14		111	21	0,18
123	18	0,14		120	23	0,19
105	15	0,14		115	22	0,19
115	17	0,14				

Anexo 3 Diámetros y espesores Takeuchi C., y Cortés, (2012) (mm)

Muestra 1 (Cundinamarca)

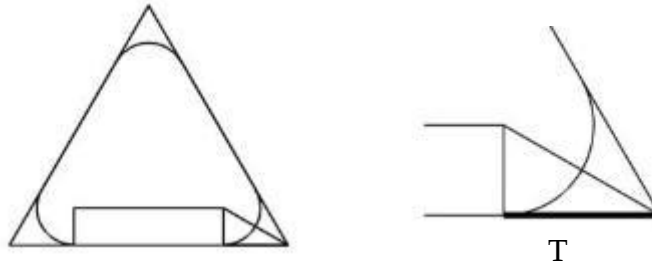
Diámetros (DAP) mm	Porcentaje en 30 muestras	Rango de espesores en mm a 1 metro	Porcentaje en 30 muestras
110	56,67	15	20
140	43,33	20	76,67
		25	3,33

Muestra 2 (Cundinamarca)

Diámetros DAP (mm)	Porcentaje en 180 muestras	Rango de espesores mm a 1 metro	Porcentaje en 180 muestras
110	11,73	10	2,23
140	55,31	15	13,41
170	31,29	20	41,34
200	1,68	25	38,55
		30	2,79
		35	1,12

Anexo 4 Método para relacionar perímetro y lado del molde

Para un perímetro del culmo, el lado del molde debe ser la división del perímetro entre tres, más dos veces una tolerancia T, que corresponde al segmento de recta resaltado en el siguiente dibujo:



$$T = \frac{\varnothing * 0,14}{0,577}$$

La tolerancia "T" Definida por donde $\varnothing$ = diámetro del renuevo, 0,14 es constante y se asume como el factor de proporción entre el espesor y el diámetro con más frecuencia estadística referido en el marco teórico y 0,577 es la tangente de 30° ángulo de medio vértice del triángulo equilátero.

Reemplazando $\varnothing$ = diámetro del renuevo por el perímetro dividido entre π = 3.1416 ; la ecuación para hallar el lado en función del perímetro es de la forma:

$$l = \frac{P}{3} + 2 \left(\frac{\left(\frac{P}{\pi} \right) (0,14)}{0,577} \right)$$

Simplificando,

$$l = P * 0.4632$$

Anexo 5 Diseño del molde metálico

