



EVALUACION DE GUADUA  
LAMINADA PEGADA  
APLICADA A PROPUESTA  
DE RETICULADO PLANO

WALTER MAURICIO BARBETO CASTILLO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE ARTES  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y  
URBANISMO



PROFUNDIZACION EN TECNOLOGIA  
SANTAFE DE BOGOTA. D.C.  
2003

# **EVALUACIÓN DE GUADUA LAMINADA PEGADA APLICADA A PROPUESTA DE RETICULADO PLANO**

WALTER MAURICIO BARRETO CASTILLO

Trabajo de grado para optar al título de arquitecto

Director  
Arquitecto GONZALO PATIÑO ORTIZ

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE ARTES  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.

2003

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del jurado  
Arquitecto, Ingeniero Civil,  
José Gustavo Martínez

---

Director  
Arquitecto Gonzalo Patiño

---

Jurado  
Arquitecto Fernán Díaz

Santafé de Bogotá, D. C. 19 de febrero de 2003

A Dios, y a mi familia

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

Gonzalo Patiño, Arquitecto, por su apoyo y colaboración en la dirección de la investigación.

José Gustavo Martínez, Arquitecto, Ingeniero Civil y a Fernán Díaz, Arquitecto, por su asesoría y participación como jurados.

Ricardo Martínez, Ingeniero Civil y a los técnicos del laboratorio de estructuras del Instituto de Ensayos e Investigaciones (IEI) de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Gestión, medio ambiente y tecnología (GEMATEC Ltda.) y Pegantes Industriales (PIN Ltda.) empresas, y a sus miembros por su colaboración en la asesoría de la investigación.

Jörg Stamm, Luis Guillermo Hernández, Arquitecto, Gustavo Granados, Ingeniero Civil, y Oscar Hidalgo, Arquitecto, por sus valiosos aportes.

Ebanistas y compañeros de la universidad, por su colaboración.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.1 IMPORTANCIA.....	2
1.2 APORTE .....	4
2 OBJETIVOS.....	6
2.1 OBJETIVOS GENERALES.....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
3 MARCO TEÓRICO .....	8
3.1 ANTECEDENTES.....	8
3.1.1 Antecedentes generales. ....	8
3.1.2 Antecedentes específicos. ....	9
3.1.3 Estado actual. ....	12
3.2 BASES TEÓRICAS .....	14
3.2.1 Materiales .....	14
3.2.2 Sistema estructural.....	16
3.2.3 Proceso de fabricación.....	18
3.2.4 Sistemas de unión .....	26
4 ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	29
4.1 METODOLOGIA.....	29
4.2 CRONOGRAMA.....	30
4.3 PROCESO.....	33
4.3.1 Documentación .....	33
4.3.2 Proposición .....	33
4.3.3 Evaluación .....	33
5 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
5.1 DOCUMENTACIÓN.....	34
5.1.1 Avances .....	34
5.2 PROPOSICIÓN.....	49
5.2.1 Propuesta técnica .....	49
5.2.2 Propuesta estructural .....	54
5.2.3 Propuesta de aplicación.....	64
5.3 EVALUACIÓN .....	65
5.3.1 Dimensiones.....	66
5.3.2 Contenido de humedad.....	67

5.3.3	Propiedades físico mecánicas.....	68
5.3.4	Uniones.....	81
5.3.5	Sistema estructural.....	83
5.3.6	Costo beneficio.....	89
6	CONCLUSIONES.....	97
7	FUENTES.....	100
8	BIBLIOGRAFÍA.....	102
9	ANEXOS.....	106

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Bosque de guadua parque nacional del café .....	3
Figura 2	Pabellón Zeri Para la expo Hannover 2000 Simón Vélez.....	9
Figura 3	Pisos y enchapes fabricados en Ecuador por FORESA .....	10
Figura 4	Molduras y listones para piso fabricados con laminado pegado de bambú.....	11
Figura 5	Pabellón de Filipinas Expo Hannover 2000 calma design & associates .....	12
Figura 6	Tablillas producidas por MIA en Caicedonia Valle .....	13
Figura 7	Ensayo a flexión en elementos de guadua laminada U.N. Manizales-GTZ .....	14
Figura 8	Guadua angustifolia kunt variedad rallada .....	15
Figura 9	Reticulado espacial de doble pared y doble curvatura .....	17
Figura 10	Cúpula de entramado en madera .....	18
Figura 11	Guadua deformada en el cultivo Gómez Iván .....	19
Figura 12	Máquina para partir la guadua Ching Yung.....	21
Figura 13	Propuesta para elaborar laminado de bambú Mori Mitsumasa 22	22
Figura 14	Planeadora para bambú IPIRTI .....	23
Figura 15	Teja ondulada de aglomerado de partículas de bambú IPIRTI 23	23
Figura 16	Secado de tablillas IPIRTI .....	24
Figura 17	Máquina cantoneadora importada a Ecuador por Bambua 25	25
Figura 18	Laminado pegado de guadua con acabado especial Wellmade corp .....	26
Figura 19	Union Finger Joint para madera laminada.....	27
Figura 20	Unión tipo mero para madera laminada en estructuras reticuladas espaciales.....	28
Figura 21	Tejido presente entre los haces vasculares del bambú Liese Walter 35	35
Figura 22	Haz vascular del bambú Liese Walter .....	36
Figura 23	Relación espesor, canuto y diámetro en tres guaduas típicas de un rodal del eje cafetero. Montoya, Jorge Augusto .....	37
Figura 24	Histograma de frecuencias relativas de DAP en el eje cafetero. Montoya, Jorge Augusto.....	38

Figura 25	Distribución de diámetros de 65 muestras de guadua Stamm Jörg	40
Figura 26	Distribución de espesores de 65 muestras de guadua Stamm Jörg	40
Figura 27	Forma de armado y dimensiones comerciales de laminados de bambú para acabados Wellmade corp.	41
Figura 28	Cortes a la guadua con sierra de discos paralelo Stamm Jörg	42
Figura 29	Máquina de corte con discos paralelos Stamm Jörg	43
Figura 30	Secador solar para tablillas de guadua Stamm Jörg	43
Figura 31	Vigas de guadua laminada pegada Moreno José Ignacio	44
Figura 32	Propuesta de unión con tarugos Moreno José Ignacio	45
Figura 33	Falla por pandeo lateral de vigas de guadua laminada pegada Moreno José Ignacio	45
Figura 34	Columna de guadua laminada pegada Moreno José Ignacio	46
Figura 35	Vigas ensayadas a flexión Stamm Jörg	48
Figura 36	Análisis geométrico para corte radial de tablillas con relación base altura 1 a 3	51
Figura 37	Análisis geométrico para corte radial de tablillas con relación base altura 1 a 2	51
Figura 38	Estudio de proporciones de tablillas para secciones cuadradas	52
Figura 39	Sección transversal para laminado pegado de guadua con uniones intercaladas	53
Figura 40	Sección transversal para laminado pegado de guadua homogénea	53
Figura 41	Propuesta de unión con platina y pernos	56
Figura 42	Módulo trapezoidal para conformar celosías	56
Figura 43	Propuestas de reticulados curvos a partir del módulo trapezoidal	57
Figura 44	Propuesta de unión con perno sin platina	58
Figura 45	Reticulado plano de cordones paralelos tipo pratt	59
Figura 46	Reticulado plano con elementos curvos	60
Figura 47	Uniones con adhesivos para empalmes con madera	61
Figura 48	Sistema de uniones para platinas interiores	62
Figura 49	Propuesta de reticulado plano con pernos y platinas	64
Figura 50	Comprobación de dimensiones propuestas	66
Figura 51	Diferencia de contracción en el secado	67

Figura 52	Xilohigrómetro utilizado en la medición del contenido de humedad.....	68
Figura 53	Dispositivo de ensayo para corte paralelo ASTM .....	71
Figura 54	probeta de ensayo para corte .....	71
Figura 55	Probeta de ensayo par compresión paralela .....	72
Figura 56	Grafica esfuerzo deformación para UF .....	73
Figura 57	Gráfica esfuerzo vs. deformación para PC.....	76
Figura 58	Diferencia en la falla por pandeo entre PC y UF .....	77
Figura 59	Posición vertical y horizontal para tablillas a tracción perpendicular .....	78
Figura 60	Probeta para tracción paralela a la fibra ASTM D143(09.10) .	79
Figura 61	Falla del material por tracción paralela .....	81
Figura 62	Maquinado con varios diámetros primera propuesta .....	82
Figura 63	Maquinado con varios diámetros y cajas segunda propuesta	82
Figura 64	Propuesta de unión con platina interna.....	83
Figura 65	Sistema de transmisión de cargas .....	84
Figura 66	Unión con perno y platina modificada .....	85
Figura 67	Montaje para ensayo del prototipo .....	86
Figura 68	Indicador de cuadrante para desplazamiento horizontal ....	87

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma general de la investigación .....	30
Tabla 2. Programación de actividades etapa de desarrollo de la investigación .....	31
Tabla 3. Diagrama de flujo de la investigación .....	32
Tabla 4. Valores promedio de espesor, diámetro y canuto en guadua del eje cafetero Montoya, Jorge Augusto .....	36
Tabla 5. Parámetros para una estandarización de la guadua . Montoya, Jorge Augusto .....	39
Tabla 6. Dimensiones factibles para la guadua Stamm Jörg.....	41
Tabla 7. Resultados de ensayos a flexión de laminados Stamm Jörg, López Luis Felipe .....	47
Tabla 8. Esfuerzos de rotura a corte paralelo con UF.....	70
Tabla 9. Esfuerzos últimos a compresión paralela con UF .....	73
Tabla 10. Esfuerzos últimos a compresión paralela con PC.....	75
Tabla 11. Esfuerzos últimos a tracción paralela con PC.....	80
Tabla 12. Deformaciones registradas en el ensayo al prototipo. ....	88
Tabla 13. Matriz de debilidades y fortalezas en el costo .....	94
Tabla 14. Cuadro comparativo ventajas en la industria de la construcción .....	95

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1	Tabla de características químicas de tablillas de guadua angustifolia kunt tomado de Hidalgo López Oscar.....	106
Anexo 2	Tabla de características físicas de tablillas de guadua angustifolia kunt.....	106
Anexo 3	Tabla de características mecánicas de tablillas de guadua angustifolia kunt.....	107
Anexo 4	Partes de la guadua, tomado de SABOGAL Aureliano ,GIRALDO Edgar .....	108
Anexo 5	Ficha técnica polímero 216 FEL .....	109
Anexo 6	Ficha técnica PC 3000 vulcanizante PV-2 .....	111
Anexo 7	Propuesta de aplicación de reticulado plano .....	1

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación, busca hacer un acercamiento a las posibilidades estructurales de los laminados de bambú, aplicando la tecnología que se ha desarrollado para el laminado pegado de madera y de algunos bambúes y utilizando una especie nativa de Colombia como la *guadua angustifolia kunt*, para fabricar los elementos componentes de una estructura reticulada, que puede tener una aplicación en la resolución de proyectos arquitectónicos.

Para esto, se hace necesario una evaluación del sistema estructural, mirando en conjunto el material, la tecnología y el sistema evaluándolo desde el punto de vista constructivo y estructural pero también, desde el punto de vista de la aplicación y del beneficio. Mediante la documentación acerca de los materiales y los procesos, es preciso, proponer un sistema y una aplicación, que se evalúan con los criterios ya señalados.

Del resultado de esta evaluación se pueden adoptar criterios que permiten avanzar en el desarrollo de la tecnología propuesta y del material, con miras a tener una herramienta de diseño que permita soluciones arquitectónicas creativas, y que den respuesta a una arquitectura con un lenguaje propio, atendiendo a las exigencias del mundo contemporáneo.

# 1 JUSTIFICACIÓN

## 1.1 IMPORTANCIA

La importancia de la utilización de recursos forestales como el bambú, está dada por los beneficios que su uso racional trae al medio ambiente. El uso de estos materiales motiva la reforestación y el aprovechamiento de recursos renovables que son muy valiosos.

La reforestación de bosques para la explotación industrial presta servicios a los ecosistemas, como la protección de los suelos ante la erosión, la liberación de grandes cantidades de oxígeno, el aseguramiento del hábitat de la fauna, y la retención del dióxido de carbono que contamina y que cada vez más se produce en el planeta.

Un país como Colombia tiene todas las ventajas para la explotación de sus recursos forestales, ya que, cuenta con una posición geográfica excepcional, que permite, por ejemplo, recibir más luz solar anualmente que países ubicados fuera del trópico, también, contar con mayores regímenes de lluvias y ríos más caudalosos que otros países del continente, además de la variedad climática y la gran cantidad de superficie cultivable con la que cuenta.

Estas ventajas, sin embargo, son desaprovechadas y los recursos forestales son menospreciados y destruidos debido a una falta de conciencia que se alimenta de prejuicios basados en el desconocimiento. La desafortunada explotación que se ha hecho de la madera ha llevado casi a la extinción algunas especies exóticas, que tardan años en recuperar sus niveles de supervivencia.

La alternativa más viable que se plantea ante esta problemática es la utilización de otras especies no tradicionales, y de recursos alternativos incluyendo el bambú, el cual, tiene ventajas frente a la madera, además

de la ventaja que tiene sobre otros materiales utilizados en la industria, por ser de origen vegetal.

El bambú en general y la guadua en particular supera los beneficios de la reforestación de bosques de madera porque tiene un crecimiento más rápido, y esto hace que el bosque nuevo, aumente la liberación de oxígeno y retenga más dióxido de carbono, además, su anatomía hace que la planta proteja el suelo, controlando la erosión y el cauce de los ríos, también permite la existencia de otros cultivos en el mismo terreno, sin degradarlo, y además no desplaza la fauna endémica del bosque nativo (ver figura 1).

Figura 1 Bosque de guadua parque nacional del café



Recientemente se han podido demostrar las calidades estéticas y estructurales que tiene la guadua debidas a su forma cilíndrica y hueca y a la calidad y composición de su fibra. Además se ha aprovechado en la fabricación de productos artesanales, decorativos y de acabado.

## 1.2 APORTE

Uno de los potenciales que poco se ha explotado del material y que constituye una importante ventaja, es precisamente el aprovechamiento de la calidad de su fibra, manejada de manera que haga parte de un material compuesto, que resalte aún más sus características y las ventajas ecológicas de su uso.

Este potencial como material compuesto se ha desarrollado en otros países y no en Colombia, en donde se han utilizado varias especies de bambú diferentes a la guadua y con propósitos distintos a la fabricación de elementos estructurales.

Esta especie de bambú gigante tiene ventajas sobre las especies que se utilizan para ese propósito, ventajas biológicas, químicas físicas y mecánicas que pueden optimizarse con la utilización de nuevas tecnologías eficientes y ecológicamente responsables.

Una de estas tecnologías es la fabricación de materiales compuestos de una matriz y láminas en forma de chapas o tablillas de otro material constituyente, esto se conoce como laminado pegado y se ha desarrollado en varios materiales incluido el bambú.

Esta tecnología tiene una importancia comparativa con otros procesos de industrialización, en los que se consumen grandes cantidades de energía, además de que optimiza los recursos, porque saca provecho de las mejores cualidades de cada uno de los componentes.

El aprovechamiento de la guadua mediante esta tecnología daría lugar a la fabricación de elementos con cualidades que permitan su uso con fines estructurales, sin olvidar, las ventajas formales y estéticas que tienen estos materiales, tales como la textura, el color y la forma.

El conocimiento de este nuevo material implica el paso por una evaluación para medir su aptitud en una aplicación estructural, por esto debe determinarse un sistema estructural que aproveche las cualidades del material y sea consecuente con sus posibilidades.

El planteamiento de un sistema estructural visto desde el material, implica un conocimiento tanto del panorama de los sistemas de estructuras, como de la tecnología de fabricación del nuevo material, es por esto que se plantea un sistema que implica los requerimientos mínimos de trabajo estructural. Estos requerimientos pueden ser, elementos rectos, cortos, de poca sección transversal sometidos a esfuerzos simples de compresión y tracción axial, por ejemplo, las estructuras reticuladas.

El planteamiento del sistema estructural, deja ver otras importantes ventajas en la propuesta, debido a que el sistema reticulado comparativamente con otros sistemas tiene mayor eficacia constructiva, ya que en los procesos de construcción la eficiencia se da por la facilidad y agilidad para el montaje y por contar con sistemas de elementos repetidos y prefabricados, cualidad importante de las estructuras reticuladas.

También es importante la ventaja estructural del sistema, porque utiliza la cantidad de material necesario para absorber el menor número de esfuerzos por cada elemento, cualidad importante en la relación del peso con la resistencia estructural del sistema. Y por supuesto la posibilidad formal de las estructuras reticuladas que no limitan la forma de los volúmenes, ya que casi cualquier volumen se puede definir mediante una retícula.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVOS GENERALES

- Aportar un conocimiento nuevo al desarrollo de la tecnología del laminado pegado, del bambú y de las estructuras reticuladas, para su implementación en la resolución de proyectos de arquitectura.
- Generar nuevas inquietudes y abrir nuevas perspectivas, además de darle continuidad a investigaciones que se han desarrollado y que están en curso referidos a estos temas.
- Explorar las cualidades formales y estéticas del sistema estructural y del material basadas en desarrollo tecnológico del material y de los procesos de fabricación.
- Evaluar las ventajas comparativas del sistema estructural, de la tecnología constructiva y de los materiales en función de su aplicación en el desarrollo de un proyecto arquitectónico

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Fundamentar y actualizar las bases teóricas, acerca del bambú y los adhesivos y de los procesos de fabricación del material.
- Fundamentar y actualizar las bases teóricas, acerca de la evaluación de la propuesta estructural en conjunto (materiales y sistema estructural).
- Decidir y proponer los elementos componentes y de unión del sistema reticulado que va a ser evaluado.

- Decidir y proponer los procesos de fabricación y construcción del sistema, así como, su aplicación y morfología.
- Evaluar desde el punto de vista estructural, constructivo y de aplicación un sistema reticulado armado con elementos laminados pegados de *guadua angustifolia kunt.*

## 3 MARCO TEÓRICO

### 3.1 ANTECEDENTES

Los antecedentes del extenso tema que aborda ésta investigación pueden dividirse en generales, sobre el material, la tecnología y el sistema; específicos, sobre el laminado de bambú y guadua y su utilización en estructuras y el estado actual en el contexto internacional, latinoamericano y nacional.

#### 3.1.1 Antecedentes generales.

Como material el bambú siempre ha estado presente en la arquitectura popular de la cultura colombiana y de gran parte de Latinoamérica y Asia, encontrándose referencias milenarias de su uso. Recientemente ha crecido el auge de la arquitectura en este material en obras de reconocida importancia alrededor del mundo.( ver figura 2).

Como tecnología constructiva el laminado pegado de madera, tiene una larga tradición en los países industrializados en donde comenzó a ser utilizada a principios del siglo XX, acrecentándose su uso hasta lograr la construcción en los últimos años de estructuras para cubiertas de hasta 250 m de longitud .

Como sistema estructural los reticulados han tenido un gran desarrollo desde finales del siglo XIX , se han utilizado con múltiples propósitos y con varios materiales entre ellos la madera, hasta lograr en la actualidad una amplia variedad tipológica y morfológica, así como la utilización de sistemas informáticos que agilizan y facilitan su cálculo.

Figura 2 Pabellón Zerí Para la expo Hannover 2000 Simón Vélez



### 3.1.2 Antecedentes específicos.

La tecnología del laminado pegado utilizando bambú se ha usado desde hace varios años en la fabricación de artesanías, utensilios, baldosas para piso parquet, entre otros productos. Recientemente, el aumento de la demanda, adelantos en maquinaria, insumos y procesos han dado origen a una industria de productos laminados pegados utilizando bambú, para la fabricación de diferentes tipos de productos como molduras, perfiles para puertas, listones para pisos, tableros contra chapados y muebles. Esta industria se ha desarrollado especialmente en países asiáticos como Filipinas, China, India e Indonesia. Últimamente esta creciente industria ha llegado a países de Latinoamérica como Ecuador, Costa Rica y Colombia, en donde se ha utilizado *guadua angustifolia kunt* y la tecnología traída de países de Asia<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> BURNEO Calisto, Marcelo. La industria de molduras, pisos y laminados de caña guadua y bambú en el Ecuador. I Seminario Bamboo 2001

Figura 3 Pisos y enchapes fabricados en Ecuador por FORESA



El arquitecto colombiano Oscar Hidalgo publicó en 1975 resultados de ensayos de laboratorio realizados por H. E. Heck a elementos de guadua laminada pegada, efectuados en 1954, además fabricó probetas con guadua, que fueron ensayadas por Peter Koch en los Estados Unidos<sup>2</sup>; posteriormente en 1990 fabricó un prototipo de sillas con elementos de guadua laminada pegada y propuso vigas doble te fabricadas con tableros contra chapados de madera y guadua laminada pegada. En Alemania, el profesor Dieter Sengler realizó ensayos con elementos de mayor área de sección transversal, para cubrir grandes luces, eliminando los nudos y con tablillas de sección reducida.

En otros países como Filipinas e Indonesia, se han hecho experimentalmente bloques para vigas y columnas con laminado pegado de bambú. En Costa Rica el centro de investigación en vivienda y construcción (CIVCO) realizó investigaciones con paneles estructurales (playbambú) utilizando *guadua angustifolia kunt*<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> HIDALGO López Oscar, 1974 Bambú, su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía. Editorial Estudios técnicos colombianos Ltda Bogotá. 318 p.

<sup>3</sup> International Network for Bamboo and Rattan, Bamboo Panel Boards a State-of-the-Art Review, 1999

En Colombia según la investigación dirigida por la ingeniera Anacilia Arbelaez en 2001<sup>4</sup> la investigación sobre las posibilidades estructurales de los laminados en bambú, no ha sido muy explorada; allí se registran algunas aproximaciones hechas en la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, en donde se han desarrollado, investigaciones como trabajo de grado sobre elementos estructurales, como cerchas, (en 1981, armadas con tablillas de guadua)<sup>5</sup>, correas en celosías tridimensionales, (en 1982, utilizando también tablillas de guadua)<sup>6</sup> y paneles estructurales ensamblados con perfiles de aluminio (en 2000, los marcos y tableros, fueron hechos con tablillas de guadua)<sup>7</sup>.

Figura 4 Molduras y listones para piso fabricados con laminado pegado de bambú



---

<sup>4</sup> ARBELAEZ Arce, Anacilia. Evaluación de las investigaciones sobre el recurso guadua (*guadua angustifolia kunth*) realizadas en Colombia. Medellín, 2001. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Facultad de Ciencias agropecuarias.

<sup>5</sup> CARVAJAL CAMINOS, William Norberto; ORTEGON CRIOLLO, William Oswaldo y ROMERO ANTURY, Carlos Julio. Elementos estructurales en bambú. Bogotá, 1981. 91p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.

<sup>6</sup> CARRASCO RODRÍGUEZ, José Isaac; JUNCO LÓPEZ, Jairo Roberto y QUIROGA PARRA, José Joaquín. Correas en celosía tridimensionales armadas en latas de Guadua de Castilla. Bogotá, 1982. 88p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.

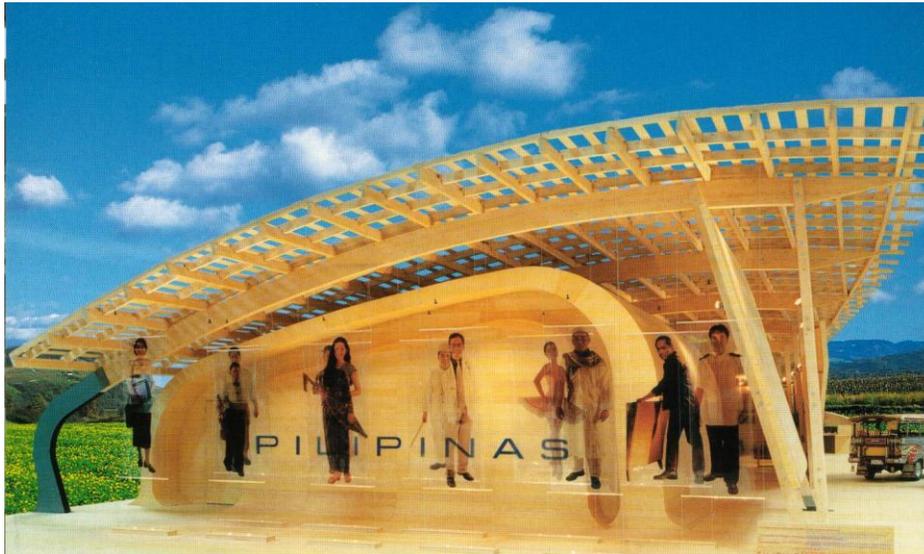
<sup>7</sup> DELGADO, Osorio Claudia Patricia, Paneles estructurales con laminas de guadua, 2000. Trabajo de grado (arquitectura). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Facultad de artes

### 3.1.3 Estado actual.

A nivel internacional algunas marcas de productos laminados de bambú, son Playboo®, Wellmade®, Zhehiang Fustar®, Hanzhou Zen®, la mayoría multinacionales con plantas de producción y cultivos en China.

Las investigaciones más importantes a nivel internacional sobre materiales compuestos de bambú las realizan el instituto indio de investigación y entrenamiento de la industria del triplex (IPIRTI por sus siglas en inglés)<sup>8</sup> y el departamento de ingeniería civil de la Queen's University, en Kingston Ontario, Canada<sup>9</sup>.

Figura 5 Pabellón de Filipinas Expo Hannover 2000 calma design & associates



En Latinoamérica, La empresa Forestal esmeraldeña (FORESA), es la primera empresa que en Ecuador, comenzó a fabricar listones para piso y enchapes con *guadua angustifolia kunt* laminada pegada y existen varios

---

<sup>8</sup> Zoolagud,S.S.;Rangaraju,T.S.1993.Bamboo mat board manufacture. In Proceedings of National Workshop on Bamboo Mat Board,Bangalore,India,12 febrero 1993. Indian Plywood Industries Research and Training Institute, Bangalore,India.

<sup>9</sup> DAGILIS, Trevor David Bamboo Composite Materials for Low-Cost Housing, Ph.D. Thesis, Department of civil, Engineering Queen's University, Kingston Canada 1999

proyectos de producción de empresas como Bambua y Panda Bambú que actualmente solo importan pisos de Asia<sup>10</sup>.

A nivel nacional, la empresa Multiservicios integrales agropecuarios (MIA) ha elevado el valor agregado de sus exportaciones de guadua, mejorando la maquinaria existente para producir volúmenes grandes de tablillas de guadua<sup>11</sup>. La fundación para el desarrollo del Quindío ha elaborado un proyecto para el montaje de una planta procesadora de guadua para pisos, paneles y molduras, que demuestra los beneficios de la industrialización de la guadua<sup>12</sup>.

Figura 6 Tablillas producidas por MIA en Caicedonia Valle



El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) regional Risaralda, adelanta estudios para procesar el culmo de la guadua y producir fibra, enchapes y laminados, también el SENA Bogotá, financia un proyecto gestionado por la empresa Gestión medio ambiente y tecnología (GEMATEC Ltda.), con el objeto de desarrollar un prototipo de maquinaria para procesar la guadua como sustituto de especies maderables tradicionales.

---

<sup>10</sup> LONDOÑO PAVA, Ximena. 2001 La guadua un bambú importante de América. I Seminario Bamboo 2001 Guayaquil, Ecuador

<sup>11</sup> ARIAS YOUNG, Alvaro. 2001 Economía y rentabilidad de los cultivos de guadua. Simposio sobre usos y servicios de la guadua. Armenia, Colombia

<sup>12</sup> VELÁSQUEZ ECHEVERRI, Luis Fernando. 2001 Montaje de una planta procesadora de guadua para pisos, paneles y molduras. Fundación para el desarrollo del Quindío. Simposio sobre usos y servicios de la guadua. Armenia, Colombia

Paralela a la presente investigación se adelantan dos propuestas para el estudio de las posibilidades estructurales de los laminados en bambú, en Colombia, una, por parte de la agencia alemana para la cooperación y el desarrollo (GTZ Por sus siglas en alemán), con el apoyo de la Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad Nacional de Manizales y la otra por parte de la Universidad Nacional de Bogotá como trabajo de grado en Arquitectura.

Figura 7 Ensayo a flexión en elementos de guadua laminada U.N. Manizales-GTZ



## 3.2 BASES TEÓRICAS

### 3.2.1 Materiales

Un material compuesto es aquel, que combinan las cualidades de dos o más materiales para ofrecer, una mejor respuesta a un requerimiento determinado. La guadua laminada pegada se puede definir así ya que, combina las propiedades de un adhesivo y de láminas (tablillas o chapas) de guadua.

En el proceso de fabricación, de este tipo de materiales compuestos se utilizan varias especies de bambú, entre ellas la *guadua angustifolia kunt*, que es el nombre científico de uno de los bambúes gigantes que conocemos comúnmente como guadua, caña guadúa, cañaza, o

tacuara. Taxonómicamente, las bambusoideas son una subfamilia de las gramíneas, tiene aproximadamente 87 géneros, y más de 1250 especies en todo el mundo<sup>13</sup>. Dentro de los géneros de bambúes leñosos en Colombia, está el género guadua, el cual incluye alrededor de 30 especies, de estas se han determinado cuatro, angustifolia kunt, amplexifolia, weberbaueri y superba<sup>14</sup>. La guadua angustifolia kunt, presenta varios biotipos o variedades conocidas comúnmente como cebolla, macana, castilla, cotuda y rallada, que se han clasificado como angustifolia angustifolia y angustifolia grandicaula (ver figura 8).

Aunque el bambú y la guadua tienen diferencias, dendrométricas, organolépticas, anatómicas, químicas, físicas y mecánicas con la madera, suele asociarse con ella en la tecnología de construcción y de materiales.

Figura 8 Guadua angustifolia kunt variedad rallada



En Colombia específicamente sobre la guadua angustifolia kunt, se han realizado 184 investigaciones de las cuales 47 se relacionan con su biología, 50 con silvicultura, 49 con tecnología de materiales y construcción, 6 con tecnología poscosecha y 32 con economía e

<sup>13</sup> LONDOÑO PAVA, Ximena, Bambúes del nuevo mundo con énfasis en el género Guadua. III simposio nacional de Bambú – Guadua. 1988

<sup>14</sup> SABOGAL Aureliano ,GIRALDO Edgar. 1999 Una alternativa sostenible: la Guadua. Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ.p.32.

industrialización<sup>15</sup>; además existen entidades especializadas como el Centro nacional para el estudio de la guadua y la Sociedad colombiana del bambú, que dan cuenta de un gran conocimiento en el país sobre este material.

En cuanto a los adhesivos, en los materiales compuestos de bambú se utilizan de varios tipos, de acuerdo con los requerimientos de resistencia a las condiciones de servicio tales como calor, frío, agua, humedad, químicos, radiación y riesgos biológicos, además se tienen en cuenta el método de aplicación el costo y condiciones de seguridad de los productos finales. Específicamente, en los laminados pegados de bambú y de guadua se han usado resinas sintéticas como acetato polivinilo, urea formaldehído y fenol formaldehído<sup>16</sup>, los cuales son adhesivos que se categorizan como, termoplásticos. Las categorías de los adhesivos de acuerdo a la clasificación química del componente principal son, naturales, termoplásticos, termo fijos, elastómeros e inorgánicos. Los termofijos incluyen, fenol formaldehído, urea formaldehído, resorcinol formaldehído, melaminas, poliésteres, resinas epóxicas, polyimidias, vinilo formaldehído, polivinilo acetal fenólico, nitrilo fenólico y epoxi fenólico; de estos en la industria, se utilizan para adherir madera, fenol formaldehído, urea formaldehído, melaminas y resinas epoxicas, además, termoplásticos como acetato polivinilo, nitrato de celulosa, elastómeros como cauchos y poliuretano y naturales como cola y caseína<sup>17</sup>.

En Colombia, se producen varios tipos de adhesivos, entre ellos acetato polivinilo y urea formaldehído, que son los más utilizados en la industria de la madera, en la fabricación de aglomerados, triplex y recientemente, estructuras de madera laminada pegada. Algunas industrias químicas de Medellín tiene un gran conocimiento acerca de los adhesivos para madera, y han asesorado a empresas ecuatorianas en la utilización de estos en la guadua.

### 3.2.2 Sistema estructural.

---

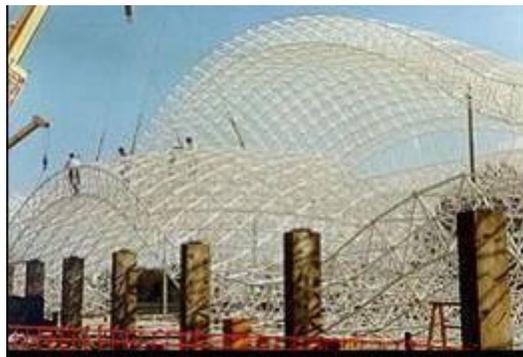
<sup>15</sup> ARBELAEZ Arce, Anacilia. Evaluación de las investigaciones sobre el recurso guadua (*guadua angustifolia kunth*) realizadas en Colombia. Medellín, 2001. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Facultad de Ciencias agropecuarias

<sup>16</sup> International Network for Bamboo and Rattan, Bamboo Panel Boards a State-of-the-Art Review 1999

<sup>17</sup> OBREGÓN Caridad; KURI Phres, José Anuar. COHEN, Bissu Elías. 1986 Manual de sistemas de unión y ensamble de materiales. México Ed. Trillas 239 p.

En principio un sistema estructural reticulado es un conjunto de elementos cortos y rígidos, unidos mediante articulaciones, que configuran triángulos, para soportar y transmitir cargas por los nudos a los elementos componentes, que están sometidos a esfuerzos de compresión y tracción axial.

Figura 9 Reticulado espacial de doble pared y doble curvatura



Tipológicamente se clasifican en dos grandes grupos, reticulados planos y espaciales. Los reticulados planos combinan la lógica formal del arco y del cable trabajando sobre un mismo plano, estos, dan lugar a otra clasificación, de cordones triangulares y paralelos, dentro de los cuales se encuentran armaduras tipo Fink, Warren, Pratt, Howe, Tijera, Rey y otras variaciones de forma de estas<sup>18</sup>.

Los reticulados espaciales tienen la misma lógica pero trabajan en los tres planos, y se clasifican en dos grupos, de simple y doble pared. Estos últimos se forman a partir de módulos piramidales de base triangular, cuadrada, hexagonal, octagonal, etc, o prismas triangulares o rectangulares triangulados. Los reticulados de simple pared configuran superficies de simple o doble curvatura, es decir, bóvedas, cúpulas, y paraboloides hiperbólicos.

Las cúpulas, a su vez, se clasifican en cúpulas nervadas, cúpulas Schwelder, de red, tipo plano, Zimmerman, de nudos rígidos, laminares,

---

<sup>18</sup> ENGEL, Heinrich, Sistemas de estructuras. Ed Blume  
EVALUACIÓN DE GUADUA LAMINADA PEGADA APLICADA A PROPUESTA DE RETICULADO PLANO

Kiewitt, Cúpulas de reticulado de dos o tres direcciones y cúpulas geodesicas<sup>19</sup>.

Figura 10 Cúpula de entramado en madera



Las cúpulas geodesicas, tienen, una gran posibilidad morfológica, en tanto que, se derivan de un icosaedro esférico, en donde cada cara puede reticularse de forma hexagonal, rómbica, semirómbica y triangular, aumentando la frecuencia de triangulación para aumentar la curvatura de la superficie.

### 3.2.3 Proceso de fabricación

El proceso para la fabricación de los elementos laminados de bambú, se basan e la tecnología desarrollada para la fabricación de materiales de bambú compuestos descritos por la Red internacional del bambú y el ratán (INBAR por sus siglas en inglés) y guardan relación con la tecnología desarrollada para la madera laminada pegada.

---

<sup>19</sup> MAKOWSKI, Z.S. estructuras Espaciales de acero  
EVALUACIÓN DE GUADUA LAMINADA PEGADA APLICADA A PROPUESTA DE RETICULADO PLANO

El proceso inicia con la selección de la guadua, la edad para el corte, en general para la utilización en estructuras, está entre los 4 y 7 años, debido a que es la edad en la que presenta, propiedades mecánicas mas resistentes. La época del año para realizar el corte, recomendado está en relación con las fases lunares, la hora del día, recomendada es entre las 4 y 5 de la mañana; se ha asumido que en menguante los tallos tienen menor contenido de almidones y azúcares y que, antes de que salga el sol la planta no ha producido los nutrientes que almacenaran en el tallo. Estos conceptos requieren sin embargo, nuevas bases científicas que los respalden.

El diámetro y el espesor debe ser el mayor que sea posible, aunque, esto varía según la especie, en algunas especies de bambú el diámetro supera los 200 mm y el espesor los 40 mm. En la guadua angustifolia, el diámetro esta en entre 80 y 120 mm y el espesor entre 10 y 20 mm aproximadamente según la variedad y la zona de la sección longitudinal del tallo. La sección transversal puede deformarse en el cultivo<sup>20</sup>, para obtener, secciones rectangulares y tablillas de hasta 80 mm de ancho, sin embargo esto también requiere de nuevos estudios que lo sustenten.

Figura 11 Guadua deformada en el cultivo Gómez Iván



---

<sup>20</sup> HIDALGO López Oscar, 1974 Bambú, su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía. Editorial Estudios técnicos colombianos Ltda Bogotá. 318 p.

El curado en la mata es una técnica que consiste en dejar los tallos cortados en el cultivo, para que los almidones y los azúcares, reaccionen con el oxígeno y den origen a alcoholes que preservan naturalmente la guadua, esta técnica está siendo estudiada cuidadosamente, para poder respaldarla.

Los criterios de selección, pues, deben estar más enfocados al aseguramiento de un volumen constante de producción de materia prima y con los criterios básicos sobre la calidad de la guadua, que debe clasificarse por sus defectos prefiriendo, guadua recta, sin hongos, sin ataque de insectos, grietas o deformaciones y cortada de la cepa (nombre dado a los primeros 3 m del culmo medido desde el suelo). Algunos expertos recomiendan cortar la cantidad de material que va a ser laminado y evitar dejarlo más de una semana almacenado, porque pueden producirse manchas debidas a hongos.

Después de esta selección, deben elaborarse las láminas, estas pueden ser tablillas o chapas. Para elaborar las tablillas (también llamadas latas), la guadua puede ser partida o cortada, la diferencia está en la forma de la sección transversal resultante y está dada por el tipo de herramienta utilizada. La primera es una sierra con cuchillas radiales, la cual, puede ser operada manualmente o puede ser intercambiable en un dispositivo mecanizado que se encuentra en el comercio<sup>21</sup>. La segunda es un par de sierras de disco montadas sobre un dispositivo que también se encuentra en el comercio. Para el primer caso es necesario predimensionar la guadua del largo que tiene la máquina.

---

<sup>21</sup>HIDALGO LÓPEZ, Oscar. Nuevas técnicas de construcción con bambú. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Estudios Técnicos Colombianos, 1978. 137 p.

Figura 12 Máquina para partir la guadua Ching Yung



Algunos fabricantes en China hacen un torneado previo para eliminar los nudos exteriores del bambú<sup>22</sup>. Otros eliminan en un mismo paso el lado interno y externo, este proceso puede ser también manual o con máquina. Hasta este punto, la facilidad del corte está dada por la baja resistencia ante el corte paralelo a la fibra que presentan los bambúes y la guadua, los cuales microscópicamente no presentan una estructura de células transversales como en la madera. Y también porque la humedad del material disminuye su resistencia, al igual que en la madera.

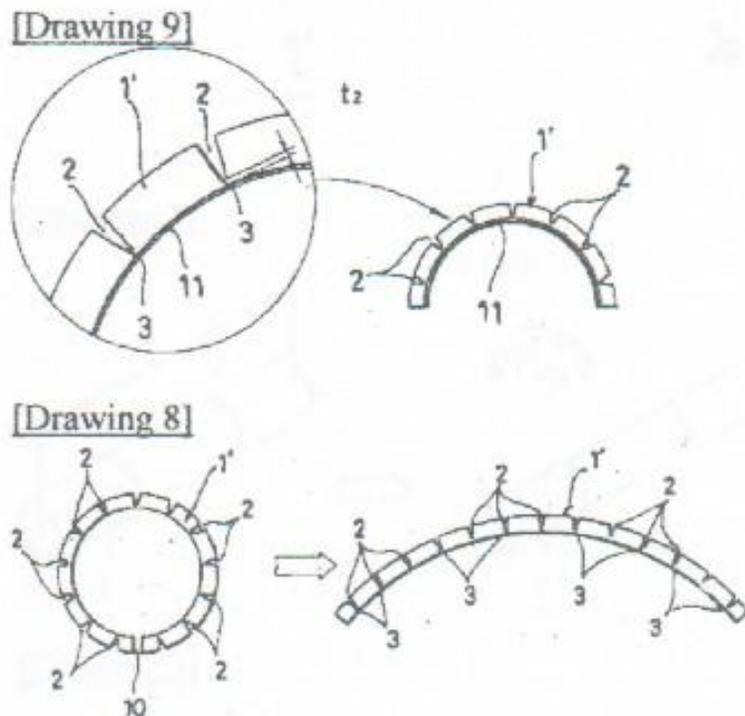
El proceso de corte puede agilizarse y mecanizarse aun más hasta llegar a propuestas, como la patente del japonés Mori Mitsumasa<sup>23</sup> de labrar trapecios en la parte externa del tallo para prensar con un adhesivo y lograr tableros (panel – board) que reducen los pasos que siguen al corte. Esta es hasta ahora una propuesta que no se ha implementado.

---

<sup>22</sup> CHING YUNG FLOORING CO. CHING YUNG MACHINE WORK bamboo & wood machinery Catalogo de máquinas 2000

<sup>23</sup> MITSUMASA Mori. Method for processing plane plate of bamboo material. 2000 Japanese Patent Office.

Figura 13 Propuesta para elaborar laminado de bambú Mori Mitsumasa



Las dimensiones de la herramienta, bien sea de cuchillas radiales o de sierras de disco, determinan las dimensiones de las tablillas y su mayor aprovechamiento, en razón a la utilización del tercio exterior de la sección transversal, que por su estructura microscópica presenta mayor dureza y resistencia, además de una menor vulnerabilidad al ataque de insectos.

Luego de partir o cortar las tablillas, se les remueve la parte interna, que presenta menor dureza debido a la estructura de los haces vasculares que transportan los nutrientes, por lo cual, es mas vulnerable al ataque de insectos. También se remueve el recubrimiento exterior (cutícula), que disminuye la adherencia del pegante. Para este proceso existe maquinaria especializada para bambúes y guadua, que remueve el material sobrante de los cuatro lados.

Figura 14 Planeadora para bambú IPIRTI



En las fábricas de China este sobrante se reutiliza como combustible o se carboniza para su comercio como tal. Sin embargo, con las investigaciones que se han hecho en Canadá y en India, con materiales compuestos de bambú y guadua se puede pensar en la fabricación de productos de alta calidad como textiles de fibras, tableros de partículas, aglomerados de astillas (picada panel), tejas onduladas de aglomerados de partículas, papel, etc, a partir del subproducto de esta etapa del proceso.

Figura 15 Teja ondulada de aglomerado de partículas de bambú IPIRTI



Luego de este cepillado, se preservan las tablillas antes del secado, inmunizándolas por inmersión. Algunos fabricantes en China someten a cocción las tablillas, sumergiéndolas en agua hirviendo y adicionando sales de boro para inmunizarlas y peróxido de hidrógeno para blanquearla. Este proceso se utiliza en la industria ecuatoriana, para reducir los almidones y azúcares que todavía permanezcan en las tablillas, además de eliminar el olor y darle color, agregando pigmentos y facilitando el moldurado. Este proceso, para elementos estructurales debe ser estudiado, debido a que, según un investigador chino, de apellido Ma, citado por Hidalgo, la cocción de las tablillas, disminuye las resistencia, por esta razón la cocción debe ser estudiada también.

El secado de las tablillas después de preservadas se puede hacer en horno a una temperatura de 60° a 70° centígrados acelerando el proceso, o también, se puede secar en hornos solares protegiendo el material del agua y aislándolo del suelo. El apilado debe ser uniforme y debe permitir el paso del aire, para que quede seca la pieza completa. El porcentaje de humedad aproximado al del punto de equilibrio de las tablillas debe ser de 8 a 10% de humedad, cuando el producto final va a quedar en interiores y de 12 a 15 % , cuando va a quedar en exteriores.

Figura 16 Secado de tablillas IPIRTI



Se debe conseguir homogeneidad en la humedad de las diferentes tablillas en un mismo elemento, debido a que en el proceso de equilibrio

de humedad, luego de pegado, la tablilla puede producir tensiones adicionales en los elementos y en las líneas de pega, que puede ocasionar fallas.

Las tablillas, secas, deben ser calibradas o cantoneadas, es decir, pulidas en sus cuatro lados, formando ángulos de 90° entre ellos, este proceso es importante, porque después del secado se producen variaciones dimensionales en las tablillas y esto afecta significativamente la línea de pega, ya que, no queda uniformemente esparcido el adhesivo y se altera el espesor.

Figura 17 Máquina cantoneadora importada a Ecuador por Bambua



Luego de este proceso, se debe engomar las tablillas, este proceso puede realizarse a mano o con maquinaria cuidando siempre de seguir las normas, y las recomendaciones de los fabricantes de los pegantes, sobre la preparación, la utilización de extensores, la temperatura de aplicación y la densidad de esparcimiento, entre otros.

Por último se realiza un prensado del material, de acuerdo a las disposiciones de los elementos, se puede utilizar prensas manuales o hidráulicas, para los laminados en bambúes y guaduas existen máquinas que realizan un prensado superior y lateral simultaneo en las piezas, esta presión va de acuerdo al pegante utilizado y es recomendada en las especificaciones del fabricante.

Figura 18 Laminado pegado de guadua con acabado especial Wellmade corp



Los elementos laminados pegados deben someterse a un proceso de curado, en el cual el pegante, fragua. Luego se someten a una inspección de calidad y se les da un acabado final, lijado, cepillado y protección con lacas o aditivos que tienen propiedades de impermeabilizantes, retardantes del fuego y protectores solares.

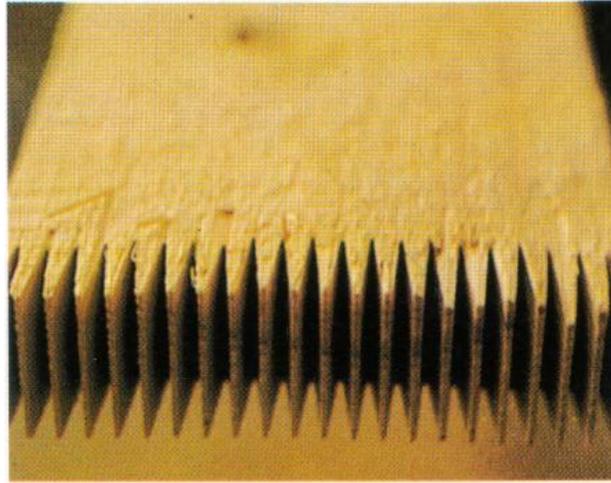
#### 3.2.4 Sistemas de unión

Las uniones de los elementos en una estructura de guadua laminada pegada se pueden hacer por medio de uniones con pegante<sup>24</sup>, en este caso, además del pegante la superficie de contacto y la geometría de la unión determinan la resistencia, las uniones a tope no transmiten esfuerzo de tracción pero sí de compresión, las uniones donde se presenta esfuerzo de tracción en elementos sometidos a flexión deben separarse 24 veces el espesor y pueden tener forma biselada, la pendiente de la unión debe ser inferior de a 1/10 en las zonas sometidas a tracción y de 1/5 en las zonas sometidas a compresión y deben distribuirse de tal forma que no coincidan verticalmente.

---

<sup>24</sup>HIDALGO López Oscar, 1974 Bambú, su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía. Editorial Estudios técnicos colombianos Ltda Bogotá. 318 p.

Figura 19 Union Finger Joint para madera laminada



Esto coincide con las normas sobre madera laminada pegada que se han desarrollado en Estados Unidos y Europa donde además se utilizan uniones de gran precisión en forma de dientes (Finger Joint) orientados de manera vertical, horizontal o inclinada,<sup>25</sup> Utilizadas para remover los defectos del material o adicionar elementos entre sí para alcanzar mayores longitudes en los elementos.

Los sistemas de uniones para estructuras reticuladas dependen del material de los elementos componentes y de la tipología del sistema reticulado. Entre las uniones para sistemas reticulados espaciales se utilizan uniones tipo mero, que permite el acople de los elementos por medio de una unión roscada a un nudo. También hay una serie de uniones desarrolladas para estructuras reticuladas de acero tales como el sistema Triodetic, Octaplaca o el Unistut, que está limitado a sistemas de tetraedro octaedro<sup>26</sup>.

---

<sup>25</sup> ROSERO FERBES CORDERO, Lilliana Andrea. Estructuras laminares con maderas tropicales. 1998. Trabajo de grado Arquitectura Universidad Nacional de Colombia Bogotá

<sup>26</sup> MAKOWSKI, Z.S. estructuras Espaciales de acero

Figura 20 Unión tipo mero para madera laminada en estructuras reticuladas espaciales



## 4 ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1 METODOLOGIA

Esta investigación esta prevista para ser desarrollada en tres etapas. La primera etapa es de documentación y su objetivo es fundamentar las bases teóricas acerca de los materiales y los procesos de fabricación, y evaluación de los materiales y del sistema estructural. En esta etapa se recopila la información existente proveniente de las fuentes bibliográficas, y de expertos en cada tema, luego se revisa, se analiza y se sacan conclusiones que permitan el avance de la propuesta.

La segunda etapa es la proposición, el objetivo en esta etapa es decidir y proponer los elementos componentes y de unión del sistema estructural, que va a ser evaluado; así como la aplicación y el proceso de fabricación y construcción. En esta etapa se predimensionan los elementos el sistema, se elabora un modelo teórico y prototipos a diferentes escalas para ser evaluados

La tercera etapa es la evaluación, el objetivo es evaluar los elementos componentes y de unión del sistema y evaluar la eficiencia constructiva, estructural y los beneficios de la aplicación propuesta. En esta etapa, se calculan o ensayan, primero los elementos y luego el sistema haciendo una simulación en computador o ensayos en modelos a escala real. También se evalúan los procesos propuestos sobre la fabricación y la construcción del sistema, y la relación entre el beneficio que muestre y al aplicación propuesta para el sistema.

## 4.2 CRONOGRAMA

En la investigación se han llevado a cabo actividades importantes para su ejecución, anteriores al desarrollo de la investigación.

2001		2002	
VII Semestre	VII semestre	IX semestre	X semestre
Materia electiva construcción con madera y bambú	Selección del tema Marco teórico Protocolo tesis	DESARROLLO Documentación Proposición Evaluación	DIVULGACION Documentos finales Informe final, Publicación
Visita Construcciones en bambú eje cafetero Colombia	Seminario Bambú 2001 Guayaquil Ecuador	Simposio Usos y servicios del bambú Armenia, Colombia	Seminario taller avances en investigación sobre guadua Pereira, Colombia
Visita inmunizadora Serrano Gómez Bogotá Colombia	Seminario rol del bambú en la prevención de desastres	Visita C.N.E.B. Y Fabricas de Quindío y Risaralda Colombia	

Tabla 1. Cronograma general de la investigación

El desarrollo de la investigación tiene doce meses, a partir de la aprobación del plan de trabajo o protocolo. Después del planteamiento, para el desarrollo de la investigación las actividades se ha dividido en tres etapas y ocho capítulos preliminares.

ETAPA	ACTIVIDAD	TEMAS	2001	2002													
			D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N			
DOCUMENTACION	RECOPILAR DATOS EXISTENTES	MATERIALES	■														
		ELEMENTOS	■														
		UNIONES		■	■	■	■										
		SISTEMA		■	■	■	■										
		PROCESOS		■	■	■	■										
		METODOLOGIA		■	■	■	■										
	RECOPILAR DATOS NUEVOS	MATERIALES															
		ELEMENTOS															
		UNIONES															
		SISTEMA															
ANALIZAR Y CONCLUIR				■													
PROPOSICION	DECIDIR Y PROPONER	ELEMENTOS															
		UNIONES															
		SISTEMA															
	CORREGIR Y REDISEÑAR	ELEMENTOS															
		UNIONES															
		SISTEMA															
CONSTRUIR MODELOS	ELEMENTOS																
	UNIONES																
	SISTEMA																
EVALUACION	ENSAYAR Y CALCULAR	ELEMENTOS															
		UNIONES															
		SISTEMA															
	EVALUAR EL SISTEMA	APLICACION															
		COSTOS															
BENEFICIOS																	

Tabla 2. Programación de actividades etapa de desarrollo de la investigación

Las actividades previstas en el desarrollo de la investigación, están dadas en tres etapas para la resolución de cada uno de los aspectos del proyecto, las etapas de documentación, proposición y evaluación, difieren en el tiempo a medida que se resuelve cada aspecto de la investigación es decir materiales, elementos, sistema y aplicación

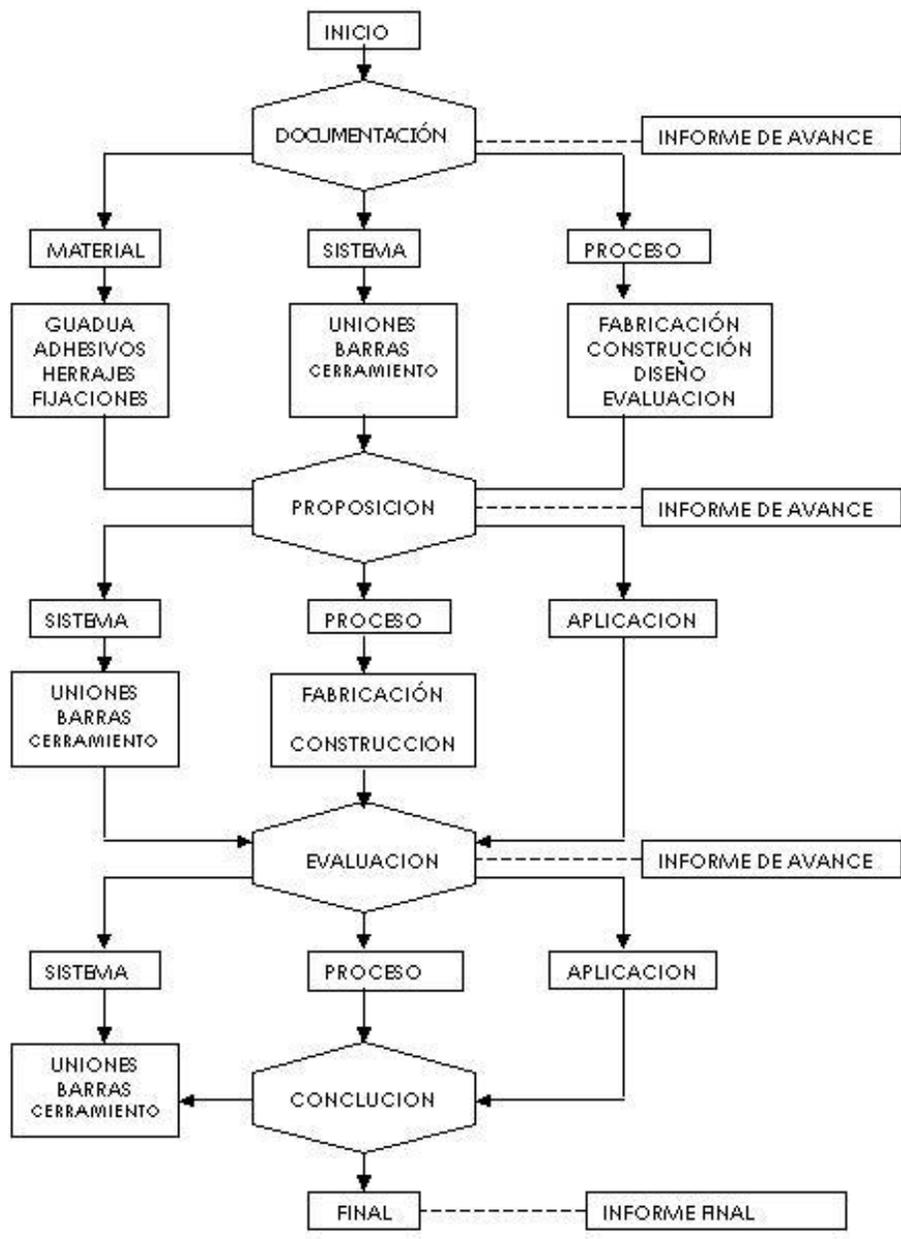


Tabla 3. Diagrama de flujo de la investigación

## 4.3 PROCESO

### 4.3.1 Documentación

Se recopila la información existente proveniente de las fuentes bibliográficas, sitios en la Internet, eventos y expertos en cada tema. Se clasifica en información general, específica y accesoria, mediante un sistema de formatos donde se incluye su localización.

La información nueva proveniente de los resultados de ensayos de laboratorio, simulación en computador o evaluación de costos. Se recopila, se grafica y se sistematiza en formatos donde se puedan incluir conclusiones.

### 4.3.2 Proposición

Se evalúan preliminarmente los ejemplos existentes y se selecciona uno para cada aspecto a desarrollar, organizando en formatos que grafican el panorama general e incluye las fuentes.

Se calcula preliminarmente las dimensiones y las especificaciones de los elementos componentes del sistema, construyendo prototipos del modelo teórico a escala reducida

### 4.3.3 Evaluación

Se ensayan en laboratorio los aspectos que deban ser evaluados de esta manera, es decir, los materiales, los elementos y el sistema, elaborando prototipos a escala real. Se simula en computador el comportamiento del sistema con relación a su aplicación

Se evalúan los procesos y la aplicación propuestos utilizando un análisis comparativo con un referente real, elaborando un documento de análisis que evalúe objetivamente los beneficios y los costos.

## 5 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1 DOCUMENTACIÓN

En el desarrollo de esta etapa de la investigación se fundamenta y se actualizan las bases teóricas acerca de los materiales, los procesos de fabricación y de evaluación del material. Esto permite la consolidación del marco teórico y el registro de los avances dados en otras investigaciones relacionadas con el tema.

#### 5.1.1 Avances

Los avances en las investigaciones hechas en temas relacionados con esta investigación permiten avanzar en la definición de las características técnicas y determinantes de diseño estructural. Dentro de estos se encuentran:

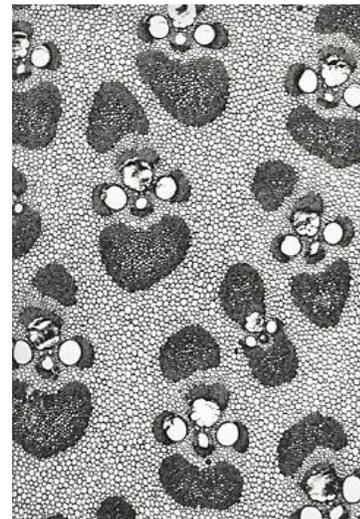
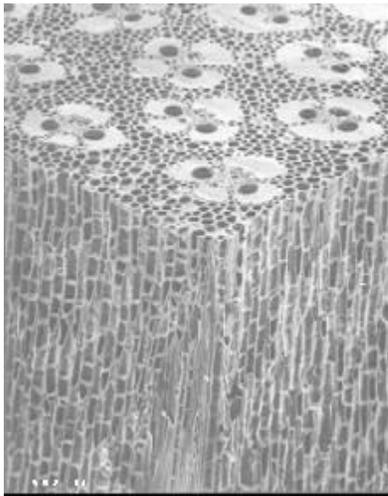
- La caracterización de la especie que va a ser utilizada
- La zona de la sección longitudinal
- La determinación de las dimensiones de la sección transversal
- La determinación de la forma de armado de la sección
- La definición de adhesivos
- La definición del proceso de fabricación
- La aproximación a una evaluación de costos
- El estudio del comportamiento a flexión del material.

La caracterización anatómica del culmo (tallo) de la guadua, ha permitido definir las características del material que permiten la industrialización.

En el estudio realizado en Londoño<sup>27</sup> se encuentran diferencias entre las zonas de la sección longitudinal del culmo, encontrando mayor contenido de parénquima en la cepa (tejido entre los haces vasculares), y mayor concentración y menor diámetro de los haces vasculares en la zona externa de la sección transversal, se diferencia cuatro zonas de esta sección y no se encuentran variaciones con respecto a la edad de maduración del culmo, el análisis de estos resultados se realiza en muestras provenientes del eje cafero de edades de 6 hasta 120 meses de crecimiento.

De este estudio se puede concluir que la diferencia anatómica tanto en la sección transversal como en la sección longitudinal deben determinar una diferencia en la utilización de las tablillas extraídas del culmo. Este factor determina la resistencia del laminado pegado de guadua y las condiciones de adherencia y confirma la diferencia anatómica entre los bambúes de diferentes especies.

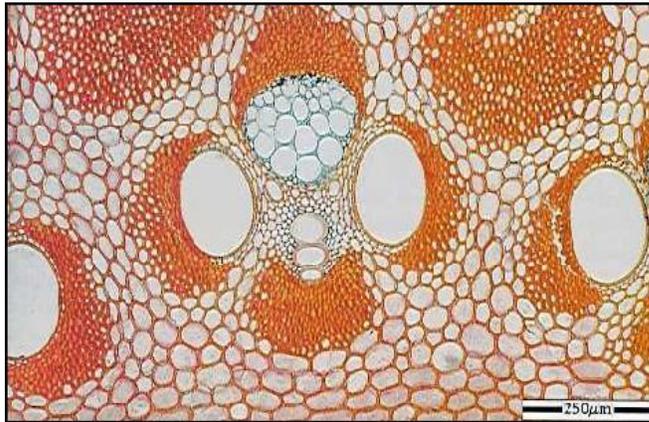
Figura 21 Tejido presente entre los haces vasculares del bambú Liese Walter



---

<sup>27</sup> LONDOÑO P. Ximena; CAMARGO Gloria P.; RIAÑO Néstor M. ; LÓPEZ Yamel Caracterización anatómica del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth, Pereira 2002 Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua. Universidad Tecnológica de Pereira

Figura 22 Haz vascular del bambú Liese Walter



El avance en la caracterización morfométrica de la especie permite crear unos estándares para la selección del material y la determinación de las dimensiones de la sección longitudinal de las tablillas. En el estudio de Montoya<sup>28</sup> se determinan tres parámetros morfométricos para el culmo de *guadua angustifolia kunt*, a partir de 1784 muestras de los municipios de Montenegro, Pereira (Cerritos, UTP), Dosquebradas (Frailles), Santa Rosa (Termales) localizados en el eje cafetero. Estos parámetros son el diámetro, el espesor o pared y la longitud de canuto.

Tabla 4. Valores promedio de espesor, diámetro y canuto en guadua del eje cafetero Montoya, Jorge Augusto

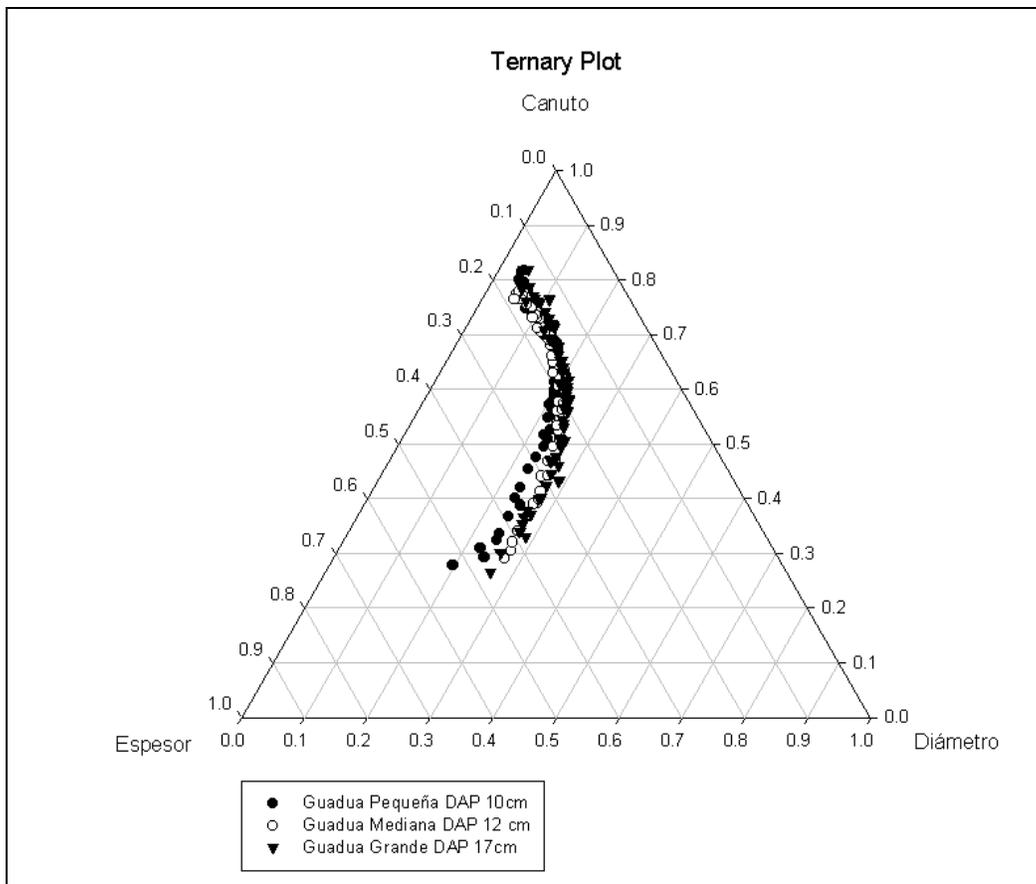
VARIABLE	PROMEDIO (cm)	ERROR (cm)	VALOR MINIMO (cm)	VALOR MAXIMO (cm)	muestras
PARED	1.4	0.5	0.6	3.6	1784
CANUTO	27.2	6.7	9.5	44.0	1784
DIÁMETRO	9.8	1.6	5.2	17.2	1784

<sup>28</sup> Montoya, Jorge Augusto, *Investigación Tecnológica en métodos de Preservación de la Guadua Angustifolia*, Pereira 2002 Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua. Universidad Tecnológica de Pereira

Este estudio concluye que “A medida que aumenta la altura de la guadua, aumenta la longitud del canuto y disminuyen el espesor y el diámetro. Esto nos indica que el tallo de la guadua tiene una tendencia más cónica que cilíndrica, sin embargo para longitudes de 3 a 4 metros (trozas cortadas de un tallo de guadua), se puede decir que la guadua conserva un comportamiento aproximado cilíndrico”.

También se concluye una interesante relación entre los parámetros estudiados a una misma altura de corte, ver gráfico Ternary Plot, en el cual para tres diámetros estudiados (10, 12 y 17 cm a la altura del pecho 1.3 m) se confirma la disminución del espesor, del diámetro y el aumento de la distancia entre nudos a medida que aumenta la altura del culmo.

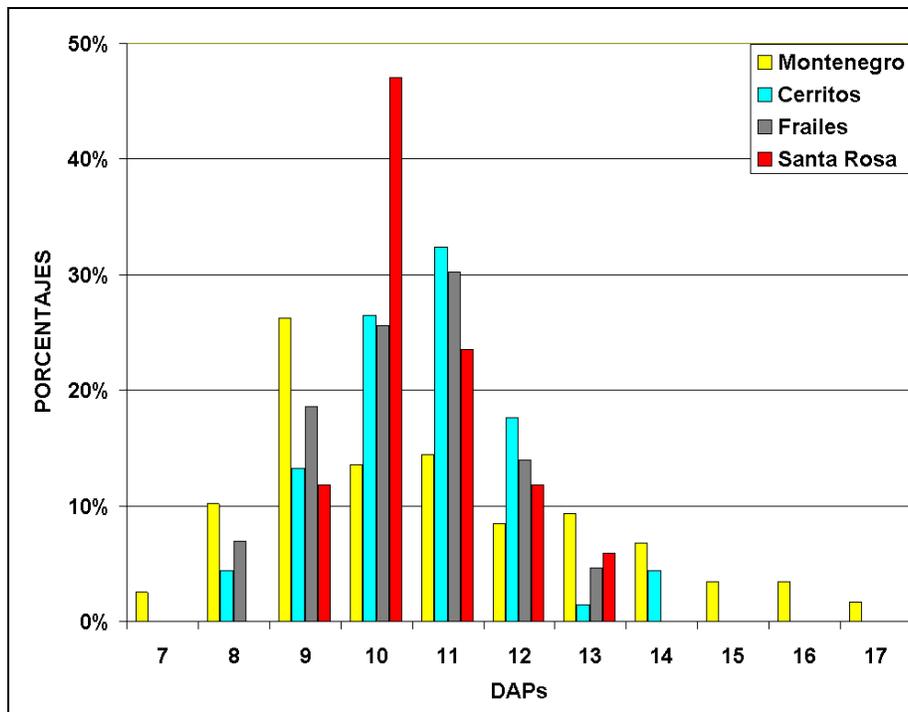
Figura 23 Relación espesor, canuto y diámetro en tres guaduas típicas de un rodal del eje cafetero. Montoya, Jorge Augusto



Esta caracterización también determina la zona de la sección longitudinal y la zona de la sección transversal que debe ser óptima para la elaboración de tablillas para laminado pegado.

El estudio también muestra la oferta natural de diámetros en cada uno de los sitios de donde se extrajeron las muestras, ver tabla, en esta se ve que la mayor oferta de diámetros se encuentra en Santa Rosa, y que, en general el diámetro más frecuente es de 10 y 11 cm.

Figura 24 Histograma de frecuencias relativas de DAP en el eje cafetero. Montoya, Jorge Augusto



El estudio de Montoya también relaciona la característica morfométrica de la guadua, de acuerdo a la zona de la sección longitudinal en cepas basas y sobrebajas, ver tabla 5, en donde se ve, la relación de proporción entre el espesor y el diámetro como un parámetro inicial de estandarización.

Tabla 5. Parámetros para una estandarización de la guadua . Montoya, Jorge Augusto

PIEZA O TROZA	ESPESOR	DIÁMETRO
CEPA x 3, 4 o 5 m	1 cm a 2 cm	8cm
		10cm
		12cm
		14cm
	2 cm a 3 cm	10cm
		12cm
		14cm
	Más de 3 cm	10cm
		12cm
		14cm
BASA x 4 m ó más	0.7 cm a 1.8 cm	8cm
		10cm
		12cm
		14cm
SOBREBASA x 4, 5, 6 m ó más	0.7 cm a 1.8 cm	7cm
		10cm
		12cm

En el estudio realizado por Stamm<sup>29</sup> se establecen promedios para una muestra de 13 guaduas cortadas en tramos de 1.5 m de tallos del departamento del Cauca. El promedio para el espesor de 65 tramos es de 1.7 cm con mayor distribución entre 1.2 y 1.4 cm y el promedio para el diámetro es de 11.5 cm con mayor distribución entre 10.5 y 12.5 cm( ver gráfico). Este promedio esta dentro del rango de Montoya y demuestra la similitud entre la guadua de dos sitios de origen diferente.

<sup>29</sup> Stamm Jörg, Laminados de guadua Pereira 2002 Universidad tecnológica de Pereira G.T.Z. Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua. Universidad Tecnológica de Pereira

Figura 25 Distribución de diámetros de 65 muestras de guadua Stamm Jörg

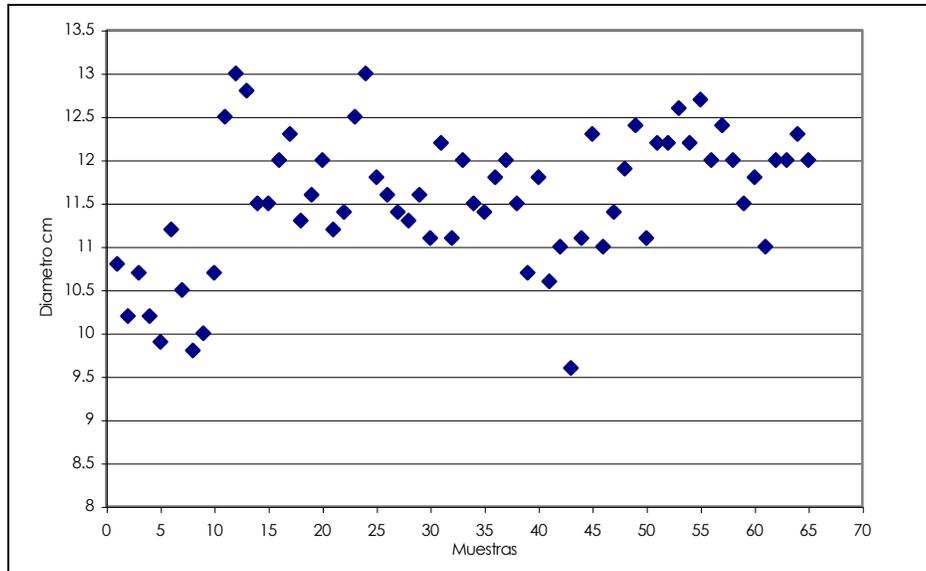
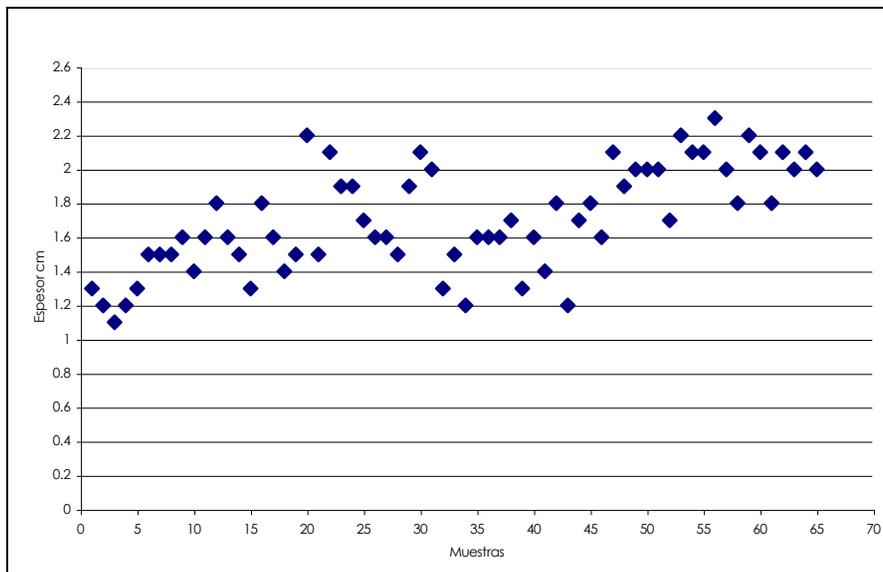


Figura 26 Distribución de espesores de 65 muestras de guadua Stamm Jörg



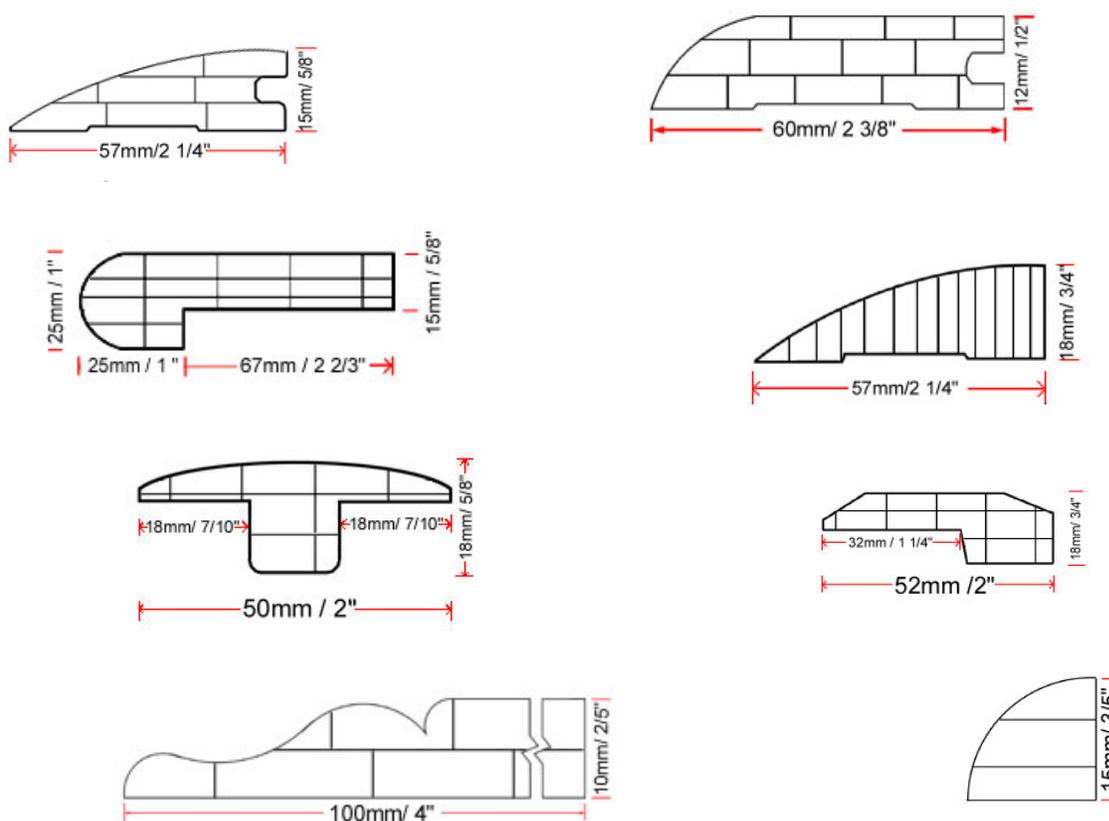
En este estudio se recomiendan unas dimensiones para la sección transversal de la tablilla para el laminado, el cual busca el máximo aprovechamiento de la zona externa y a la vez, realizar el menor número de cortes posibles.

Tabla 6. Dimensiones factibles para la guadua Stamm Jörg

Espesor en cm	Ancho de la tablilla en cm					
	2	2.5	3	3.5	4	4.5
0.6	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
0.8	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6
1	2	2.5	3	3.5	4	4.5
1.2	2.4	3	3.6	4.2	4.8	5.4
cantidad de tablillas	12	10	8	6	5	4

Esta propuesta de dimensiones es acorde a las utilizadas por fabricantes de laminado de bambú, y demuestra un mayor aprovechamiento en cuanto al área de la sección transversal utilizando la guadua (ver tabla recuadro gris), para 10 y 12 cm de diámetro exterior).

Figura 27 Forma de armado y dimensiones comerciales de laminados de bambú para acabados Wellmade corp.



Este estudio de Stamm concluye también que el rendimiento en porcentaje, con relación al área de la sección transversal, es mayor cuanto más tablillas se corten de cada sección circular, por ejemplo cortando 5 tablillas el rendimiento es de 28 % y cortando 7 el rendimiento es del 45 %, además este corte aprovecha más la zona definida por Londoño, que tiene menor diámetro de haces vasculares y menor cantidad de tejido entre ellos.

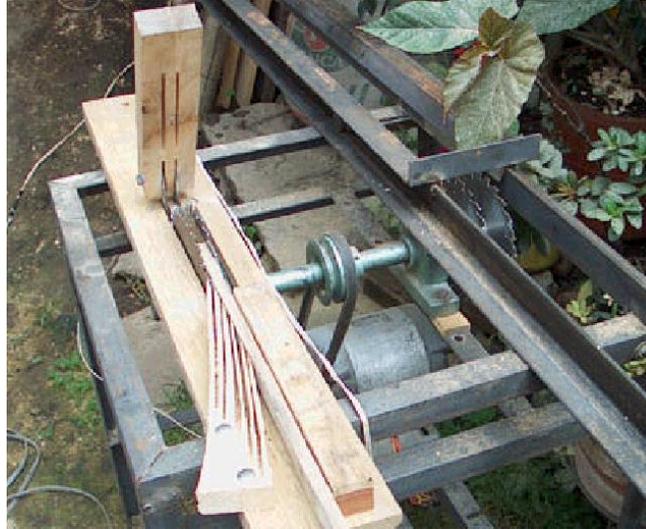
Figura 28 Cortes a la guadua con sierra de discos paralelo Stamm Jörg



El estudio de Stamm propone un proceso semiindustrializado buscando procesar las tablillas cerca del cultivo para disminuir costos. La propuesta incluye una máquina de corte, y un diseño de secador solar.

La máquina consiste en dos sierras de disco paralelas que cortan el ancho y el espesor de la tablilla, esta máquina es de bajo costo aunque no alcanza el rendimiento de la sierra de cuchillas radiales.

Figura 29 Máquina de corte con discos paralelos Stamm Jörg



El secador solar utiliza la ventilación natural y la temperatura de los rayos solares para disminuir el contenido de humedad de las tablillas antes de sacarlas del cultivo, el secador es de bajo costo y alcanza un rendimiento de 15 a 20 días para una capacidad de 2 a 3 m<sup>3</sup> de tablillas.

Figura 30 Secador solar para tablillas de guadua Stamm Jörg



Stamm incluye un análisis de costos para productos finales, y para rendimiento por tallos, además una propuesta de fabricación semiindustrializada de productos como tablas, vigas y tableros.

El estudio de Moreno José Ignacio<sup>30</sup> de elementos a flexión y a compresión muestra resultados de ensayos a flexión de tres vigas y a compresión paralela de una columna de guadua laminada pegada.

Figura 31 Vigas de guadua laminada pegada Moreno José Ignacio



Los ensayos se realizaron en el Instituto de Ensayos e Investigaciones (I. E. I.) en Bogotá. Para las probetas se utiliza guadua cortada en Pacho Cundinamarca y se utiliza un adhesivo a base de caucho sintético. Las probetas tienen tres formas de armado y sus dimensiones corresponden a luces convencionales para vivienda. Las vigas tienen una luz de 3 m y una sección transversal de 5 por 15 cm. La columna tiene una altura de 1 m y una sección de 10 por 10 cm.

La primera viga tiene tablillas cruzadas con diferentes espesores y presenta falla por pandeo lateral después de 500 Kg. cargados en el punto medio de la luz.

La segunda viga es de tablillas paralelas y diferentes espesores de tablilla, y se adiciona un alambre metálico en la mitad del elemento. Presenta falla por corte localizado en la mitad del elemento después de 1000 Kg. cargados en la mitad de la luz.

La tercera viga es de tablillas paralelas y espesores más uniformes de tablillas las uniones entre estas se realizan por medio de tarugos de guadua pretaladrados. Presenta falla por pandeo lateral después de 1200 Kg. cargados en la mitad de la luz.

---

<sup>30</sup> MORENO José Ignacio Trabajo de grado en curso Carrera de construcción. Universidad Santo Tomas. Bogotá 2002.

Figura 32 Propuesta de unión con tarugos Moreno José Ignacio



Todas las vigas recuperan las dimensiones después de retirar la carga debido al comportamiento elástoplástico del material

La columna es de tablillas paralelas de diferentes espesores y superficies irregulares, se adiciona un alambre metálico en la mitad del elemento. Presenta falla por pandeo después de 28000 Kg. fallando por las líneas de pega de las superficies irregulares.

Figura 33 Falla por pandeo lateral de vigas de guadua laminada pegada Moreno José Ignacio



De estos ensayos realizados por Moreno se puede concluir que el módulo de elasticidad del adhesivo influye en el comportamiento elástico de la

guadua laminada pegada, también que al aumentar el control de calidad en la fabricación se puede optimizar el comportamiento mecánico del material, ya que las fallas se presentaron en las zonas con defectos de adhesión tales como falta de presión, superficies irregulares y ataque de insectos.

Figura 34 Columna de guadua laminada pegada Moreno José Ignacio



Dentro del estudio de Stamm se realizan también ensayos a flexión de siete vigas de guadua laminada pegada. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales y fueron realizados por el ingeniero Luis Felipe López.

Las vigas fueron fabricadas con guadua proveniente de Popayán Cauca y se utiliza un adhesivo a base de acetato de polivinil, las probetas son de sección transversal rectangular y una con sección en I

Tabla 7. Resultados de ensayos a flexión de laminados Stamm Jörg, López Luis Felipe

Probeta	Altura cm	Ancho cm
v1	9	3
v2	11.8	2.5
v3	8	3.3
v4	8.3	2.6
v5	11.3	2.6
v6	3.3	8.7
v7	16.2	5.5

“En los ensayos de las probetas 1 y 2 los módulos de elasticidad fueron 13.1 Gpa y 15.4 Gpa respectivamente; estos dos ensayos fueron los que se comportaron mejor en la prueba el ensayo 1 fallo por flexión y por una ranura de fabricación “pega entre láminas”, posiblemente por la falta de presión en la pegada de las láminas.

La viga 2 falló por cortante, dicha falla se presentó por debajo del eje neutro de la viga y se dio en la lámina menos densa de la probeta.

En los ensayos 3, 4 y 5 se presentaron problemas con el pegante por lo cual las probetas no pudieron desarrollar el máximo de su capacidad.

La probeta 6 se ensayo de canto  $h < b$  y los resultados fueron sorprendentes fue la viga que obtuvo el mayor modulo de elasticidad 16.4 Gpa, esto se puede explicar por que las láminas quedaron de forma perpendicular a las de las otras vigas razón por la cual la parénquima “tejido duro” quedo mejor repartido.

En la viga 7 no hay descripción del tipo de falla que se presento y aunque fue la que mas carga soporto fue la que tuvo el menor módulo de elasticidad”.

Figura 35 Vigas ensayadas a flexión Stamm Jörg



En la evaluación del material realizada para la presente investigación y para otra sobre elementos estructurales tensegrity realizada en la Universidad Nacional de Bogotá, se registran en un documento los resultados y el análisis de los ensayos de laboratorio para determinar las características técnicas del material y las determinantes de diseño estructural.

En el documento se especifican ampliamente los métodos de ensayo utilizados para el estudio los cuales se basan en las normas americanas para el ensayo de materiales (ASTM) numeral D143 capítulo 04.10 método de ensayo para especímenes de madera y D 905 capítulo 15.06 corte paralelo por compresión .

También se presentan las características de las probetas que se utilizaron para los ensayos de laboratorio, es decir, la especie, el sitio de origen, el proceso de fabricación, el contenido de humedad, en el corte y en el momento de la adhesión, el proceso de secado y las dimensiones.

El informe tiene la información sobre las características técnicas de los adhesivos relativas a esparcimiento, el esfuerzo de prensado y el tiempo de prensado y curado, manejo y seguridad.

El estudio del material se hizo para el adhesivo y para muestras de material sometida a esfuerzo de compresión paralela, utilizando varias

formas de armado, y dos clase de adhesivos el primero es una resina de urea formaldehído catalizado con sales y extendido con harina de trigo, y el segundo es un adhesivo de contacto para madera a base de policloropreno vulcanizado con un poliisocianato y aplicado sobre un imprimante.

Los resultados comparativos del esfuerzo final y el tipo de falla permiten ver las ventajas del adhesivo de contacto.

## 5.2 PROPOSICIÓN

Los aspectos definidos para la propuesta estructural están basados en el análisis de la documentación y en las variables que afectan los resultados de la evaluación del sistema.

La propuesta estructural se basa en la evaluación del material y en una posibilidad de diseño que presente ventajas en el proceso constructivo, tales como el transporte, la facilidad y rapidez para el montaje y el desmontaje además de resaltar las cualidades estéticas del material.

### 5.2.1 Propuesta técnica

Las determinantes técnicas para la realización de la propuesta estructural definidas hasta ahora son:

La utilización de *guadua angustifolia kunt* variedad macana como especie óptima para la configuración de elementos laminados pegados para estructuras, con base en el análisis de las propiedades mecánicas físicas y químicas, de tablillas encontradas en estudios ya realizados (ver anexos 1, 2 y 3) en los que se ve la superior resistencia del material ante tracción axial 73% más que a compresión axial, peso específico bajo en relación con la resistencia aproximadamente 1700 veces su propio peso.

Utilizar material de sección circular, descartando la posibilidad que tiene el material de ser deformado en sección cuadrada o rectangular durante

el cultivo, debida a que esta práctica no asegura un volumen grande y constante de material.

Utilizar tablillas para la configuración de los elementos estructurales del sistema, descartando la posibilidad de utilizar chapas para la configuración de los elementos, por tener disponibilidad en el mercado de tablillas y de maquinaria para su obtención.

Utilizar la basa (nombre dado a los 11 metros del culmo o tallo de la guadua medidos desde la cepa ver anexo 4), para la fabricación de los elementos laminados pegados, debido a contar con mayor espesor, diámetro ausencia de ramas un comportamiento cilindrico cada tres metros y una anatomía microscópica apropiada para el uso estructural.

La determinación preliminar de las dimensiones de la sección rectangular de las tablillas de 8 por 24 y 8 por 16 milímetros, basadas en la caracterización dimensional de la especie encontrada en estudios ya realizados<sup>31</sup>, las cuales, permiten aprovechar la mayor cantidad de material según el análisis geométrico de la figura 37 y 38 y definir un corte para la configuración de elementos de sección cuadrada con proporciones 1 a 2 y 1 a 3 como se muestra en la figura 39, que aprovecha más la zona externa del material donde hay menor diámetro y distancia entre los haces vasculares

---

<sup>31</sup> Montoya, Jorge Augusto, Investigación Tecnológica en métodos de Preservación de la Guadua Angustifolia, Pereira 2002 Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua. Universidad Tecnológica de Pereira

Figura 36 Análisis geométrico para corte radial de tablillas con relación base altura 1 a 3

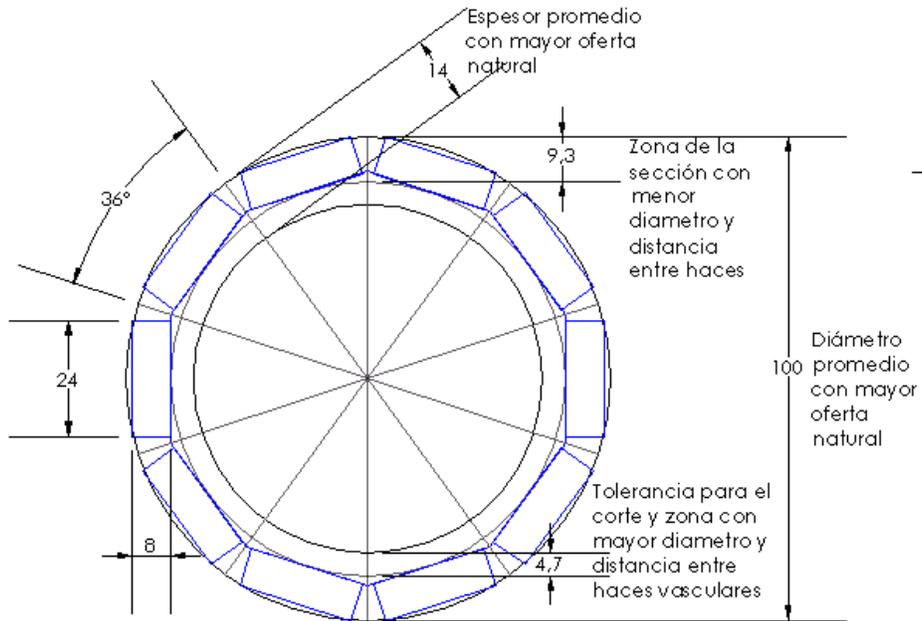


Figura 37 Análisis geométrico para corte radial de tablillas con relación base altura 1 a 2

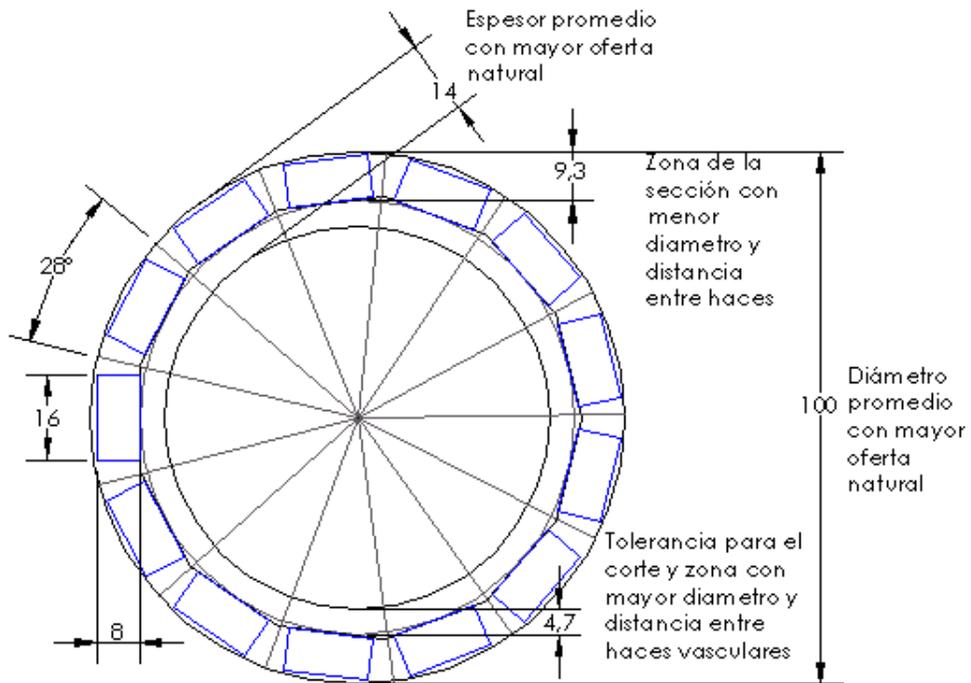
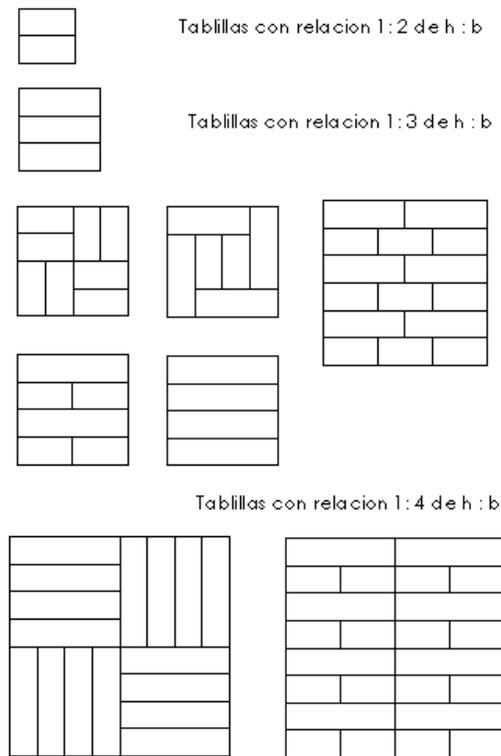


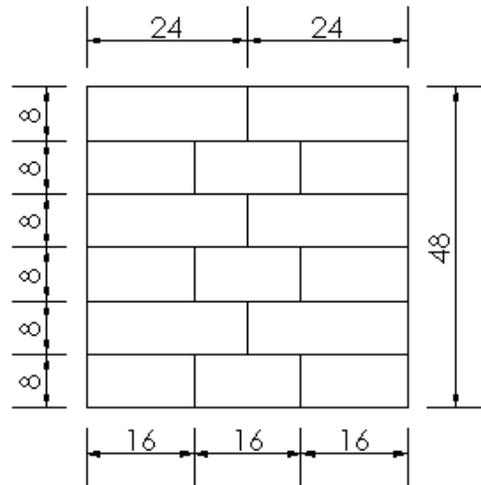
Figura 38 Estudio de proporciones de tablillas para secciones cuadradas



La determinación de la distancia de 136 milímetros para intercalar los nudos longitudinalmente sobre el elemento, basada en la caracterización dimensional de la especie en la cepa y descartando la posibilidad de remover los nudos del material proceso que implica un desarrollo tecnológico de uniones con adhesivos especializado para el material.

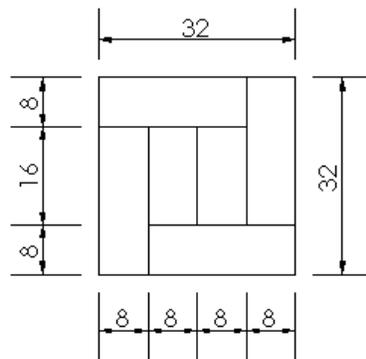
La determinación de una forma de armado de los elementos utilizando las dimensiones establecidas preliminarmente y basada en la diferencia de adhesión y resistencia a tracción de la zona externa e interna de las tablillas además de la importancia de intercalar las uniones para evitar crear planos de falla.

Figura 39 Sección transversal para laminado pegado de guadua con uniones intercaladas



Adicionalmente se propone una forma de armado de menor dimension para elementos a tracción, la cual tiene una configuración más homogénea porque reparte las zonas de la tablilla que son más densas hacia el borde de la seccion y permite el contacto de las zonas internas de las tablillas que tienen más adherencia

Figura 40 Sección transversal para laminado pegado de guadua homogénea



Utilizar adhesivo de contacto a base de policloropreno para sustituir el adhesivo de resina de úrea formaldehído debido a la diferencia de adhesión y resistencia a carga bajo condiciones extremas de humedad también se plantea la posibilidad de utilizar adhesivos a base de

poliuretanos o isocianatos con base en estudios que se han hecho en la madera.

Adoptar el proceso de fabricación(ver proceso de fabricación en el marco teórico) desarrollado para los elementos no estructurales laminados pegados de bambú y guadua, excluyendo el proceso de cocción .

Utilizar uniones con pernos y platinas para los elementos estructurales entre si, basadas en las investigaciones de uniones a tracción para guadua ya realizadas y también en las uniones para madera que se han estudiado y normalizado. Además de manejar el concepto de que la aplicación estructural pueda ser desmontable y alcanzar un nivel de estandarización y prefabricación.

La adopción de las dimensiones preliminares del diámetro de los pernos de 6.35 milímetros y de la distancia al borde paralelo de 63.5 milímetros, basadas en estudios ya realizados en tablillas de esta especie de guadua<sup>32</sup>, en donde se comparan varios diámetros de pernos en relación con el esfuerzo resistente y se relacionan con los espesores y distancias hasta el borde en tablillas.

La adopción de un sistema estructural reticulado plano de cordones paralelos, poligonales y configuración tipo pratt (diagonales a tracción) basado en estudios ya realizados en cerchas de este tipo con tablillas de esta especie de guadua <sup>33</sup>y también con madera<sup>34</sup>.

## 5.2.2 Propuesta estructural

---

<sup>32</sup> CLAVIJO ORTIZ, Sandra Cecilia,, TRUJILLO, David, Evaluación de uniones a tracción en guadua. 2000 Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

<sup>33</sup> CARVAJAL CAMINOS, William Norberto; ORTEGON CRIOLLO, William Oswaldo y ROMERO ANTURY, Carlos Julio. Elementos estructurales en bambú. Bogotá, 1981. 91p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería

<sup>34</sup> GALVIS , Sánchez Tiberio, Estudio teórico practico de las deformaciones en cerchas de madera dependiendo del tipo de uniones entre elementos 1994 Bogotá Trabajo de grado Ingeniería civil Universidad Nacional de Colombia . Bogotá.

Se plantean en esta investigación cuatro propuestas en las que las posibilidades de unión se relacionan con la forma y la posible aplicación del elemento estructural.

De las cuatro propuestas teóricas se evalúa la que permita experimentalmente ser comprobada mediante un análisis matemático y un modelo a escala real, fabricado con todas las especificaciones técnicas que se proponen en esta investigación.

La primera propuesta es un reticulado de cordones paralelos poligonal que conforman un trapecio el cual da lugar a configurar celosías y elementos curvos utilizando el mismo diseño de unión (ver figuras 41, 42 43)

Figura 41 Propuesta de unión con platina y pernos

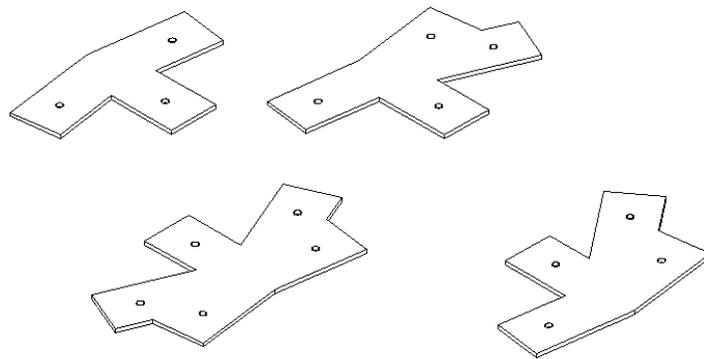
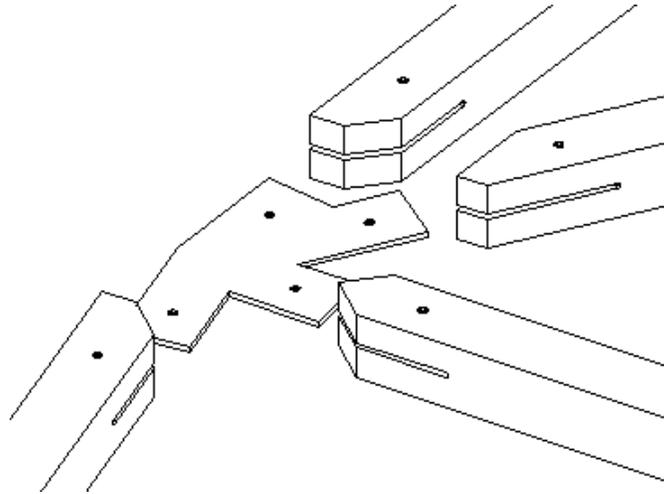


Figura 42 Módulo trapezoidal para conformar celosías

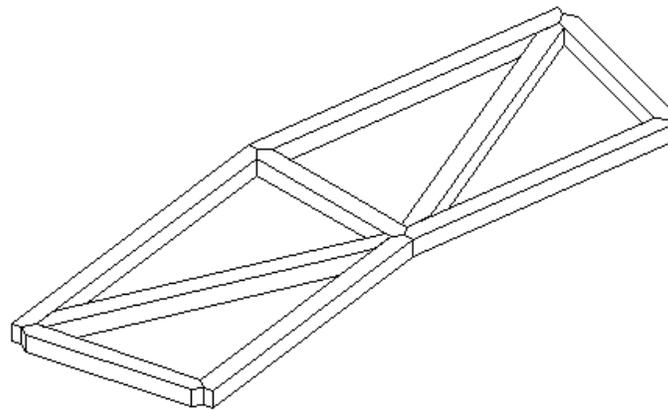
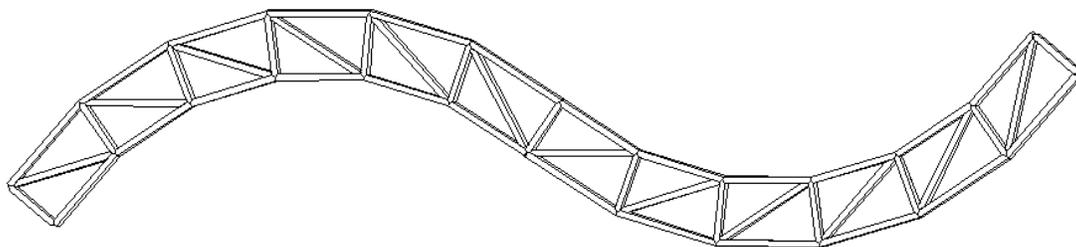
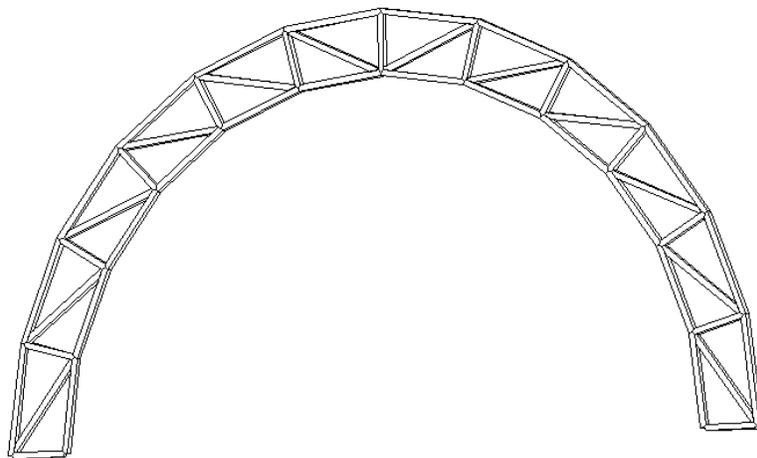


Figura 43 Propuestas de reticulados curvos a partir del módulo trapezoidal



La segunda propuesta utiliza solo pernos para la unión de las barras a los cordones de la cercha utilizando dos elementos de menor área de sección y pernos de menor diámetro. ( ver figuras 44 y 45)

Figura 44 Propuesta de unión con perno sin platina

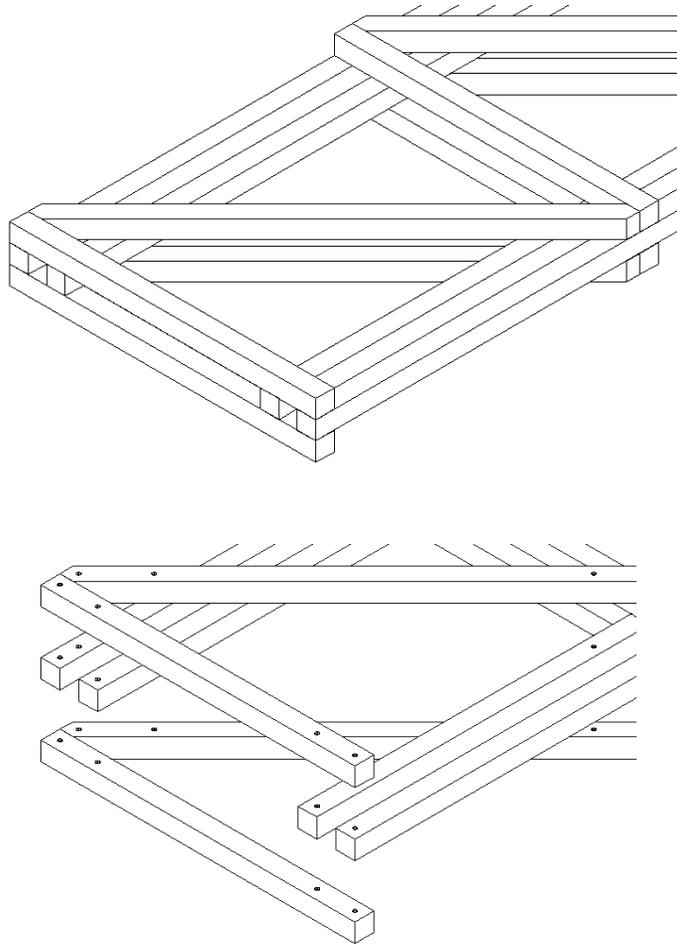
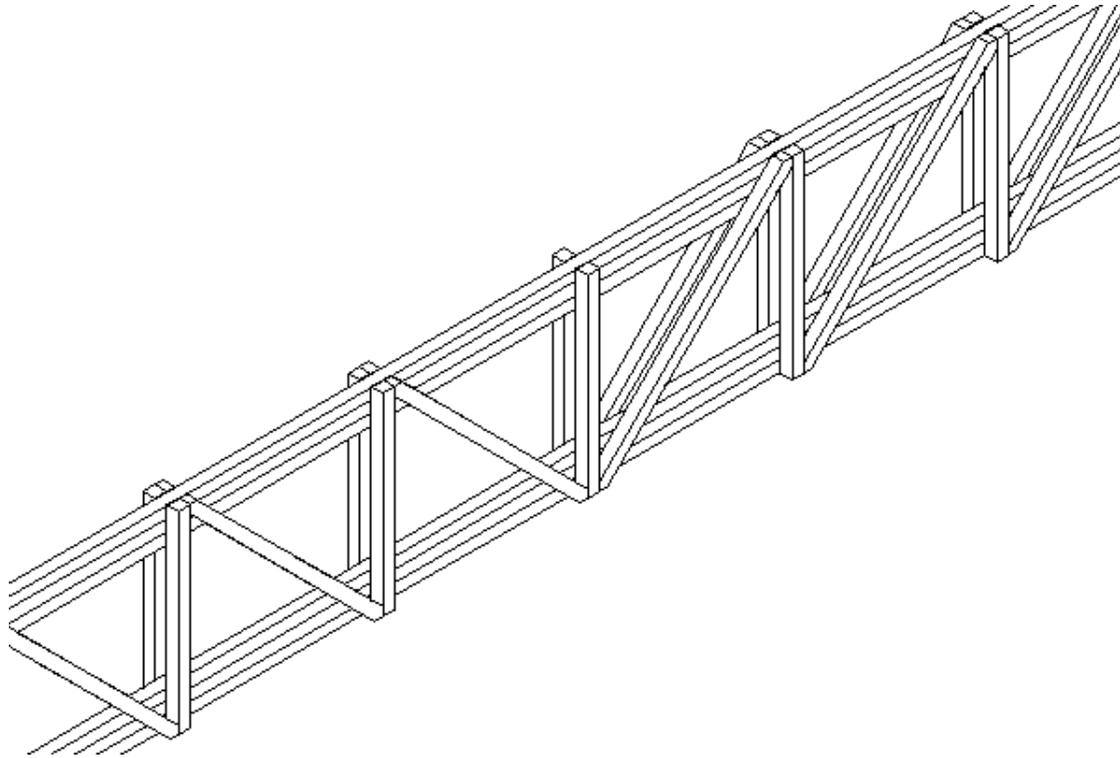


Figura 45 Reticulado plano de cordones paralelos tipo pratt



La tercera propuesta utiliza solo pernos para unir los cordones paralelos a elementos curvos de laminado pegado que aumentan la altura del elemento( ver figura 46). Esta propuesta requiere un estudio de las uniones de los extremos con adhesivos como los que se han planteado para la madera ( ver figura 47), además un estudio de las posibilidades, técnicas y dimensiones para el curvado de las tabillas que con forman el reticulado.

Figura 46 Reticulado plano con elementos curvos

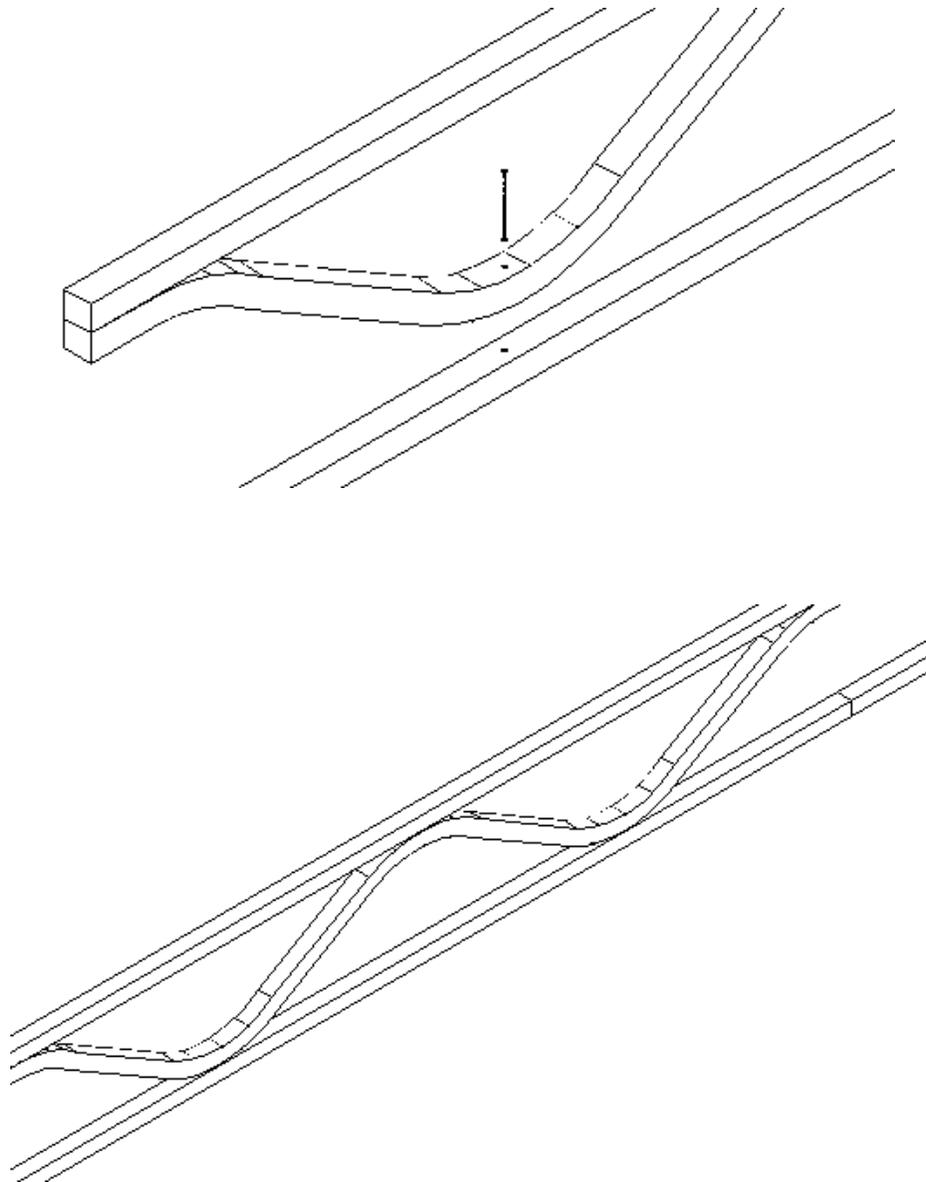
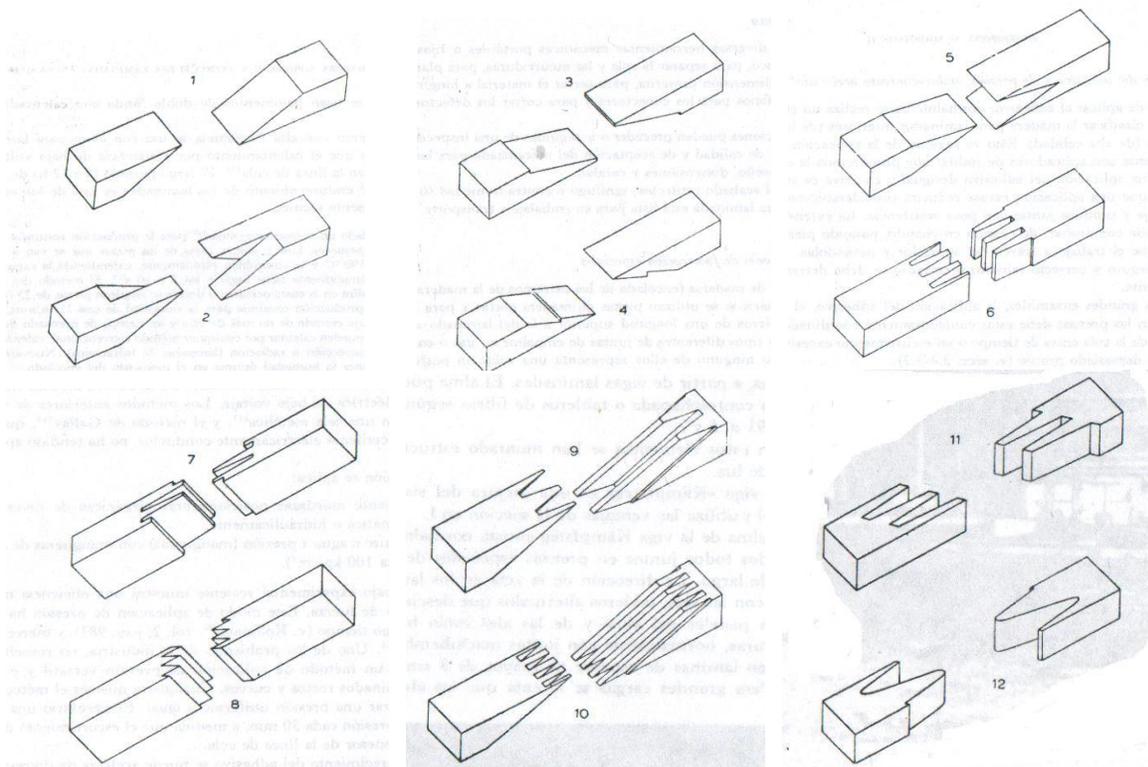
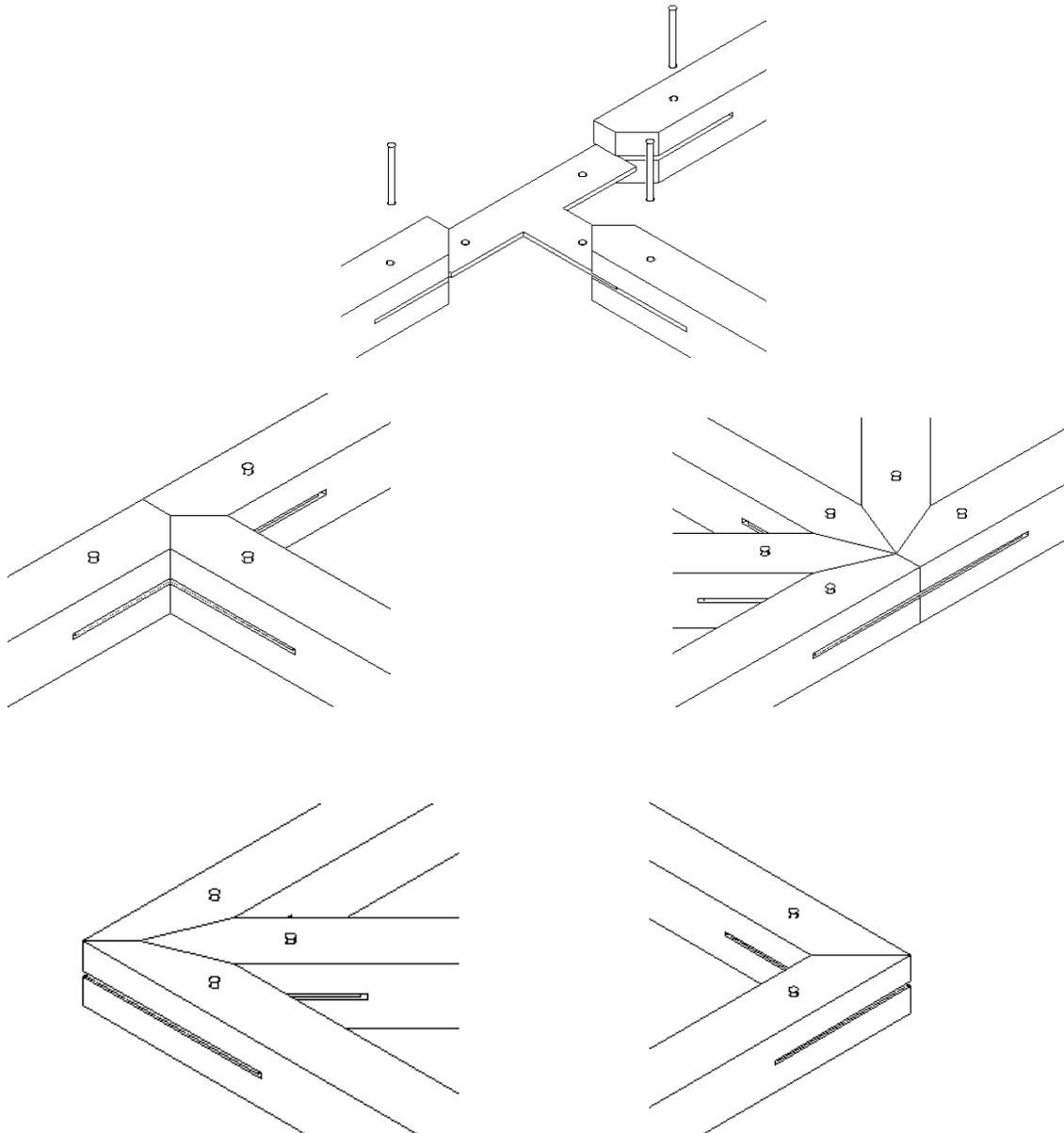


Figura 47 Uniones con adhesivos para empalmes con madera



La cuarta propuesta es un reticulado plano de cordones paralelos tipo pratt en el cual los cordones se ensamblan con las barras y las diagonales mediante pernos y platinas, buscando con cortes diagonales ampliar el área de contacto entre los elementos en el punto de unión (ver figuras 47 y 48).

Figura 48 Sistema de uniones para platinas interiores



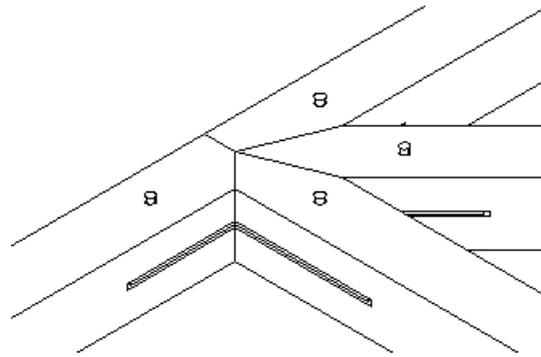
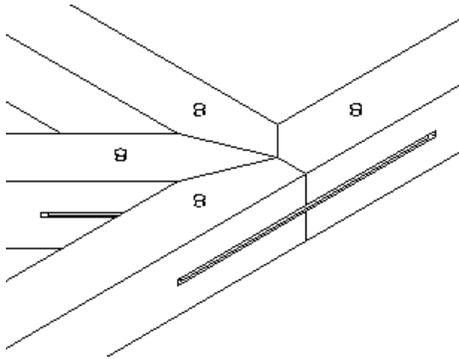
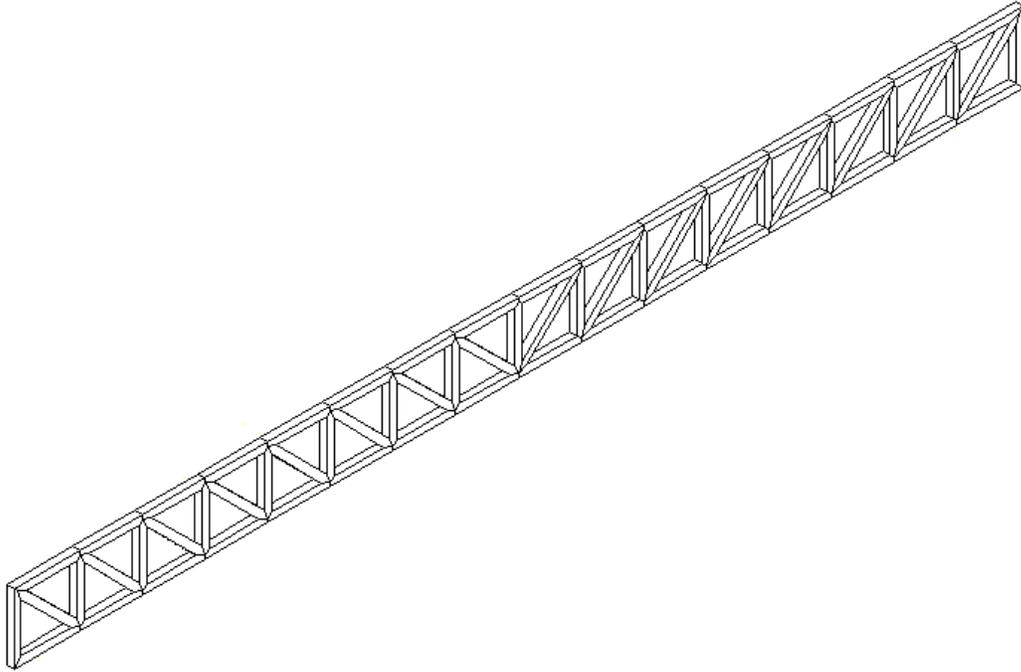


Figura 49 Propuesta de reticulado plano con pernos y platinas



### 5.2.3 Propuesta de aplicación

Las propuestas técnica y estructural se basan en una aplicación arquitectónica que se plantea como respuesta a dos criterios que son consecuentes con el material y el sistema estructural.

Los elementos de guadua laminada pegada aplicados en un sistema reticulado plano, son propuestos como estructura de cubierta de un recinto de uso temporal, de dimensiones variables. Los criterios que se toman en cuenta son, la facilidad y agilidad para realizar las uniones, y la prefabricación y estandarización de los elementos. Estos criterios son

consecuentes con el material, porque es fácil de transportar por su forma y bajo peso, y con el sistema estructural porque debe contar con elementos repetidos y de dimensiones reducidas.

Las estructuras desmontables en la arquitectura se asocian con estructuras para procesos constructivos (circulación, fundición de materiales), de publicidad exterior (escenarios, exposiciones temporales) y estructuras para mantenimiento de edificios. El uso posible para la propuesta puede ser la realización de eventos, en un espacio desmontable, con un diseño de acabados y detalles que permita su reutilización.

El reticulado plano propuesto, apoyado en los extremos conforma en planta una retícula triangular que puede extenderse de acuerdo a la necesidad del espacio a cubrir. La geometría permite coordinar los elementos modulares y obtener la rigidez del sistema ( ver anexo 7).

Los apoyos están resueltos por columnas compuestas, los elementos de estan fabricados de guadua laminada pegada. Los extremos del reticulado son voladizos inclinados para favorecer el desagüe de la cubierta, (ver anexo 7). El cerramiento lo constituyen paneles tipo sándwich compuestos de plástico reforzado con fibra, poli estireno expandido y tableros de guadua laminada pegada.

Las uniones entre los elementos se logra mediante pernos y platinas para agilizar y facilitar el montaje y desmontaje. La cabeza del perno tipo Bristol y la tuerca se ocultan en perforaciones hechas al material.

### 5.3 EVALUACIÓN

Para la evaluación de la guadua laminada pegada se asumen métodos experimentales basados en la metodología propuesta y en métodos de ensayo internacionales.

Se evalúan aspectos de la propuesta como las dimensiones de las tablillas, el contenido de humedad, las propiedades físico mecánicas del material, las uniones propuestas, el sistema estructural y la relación del costo con el beneficio.

### 5.3.1 Dimensiones

La propuesta de dimensiones para la sección transversal de las tablillas se comprobó con la elaboración de 200 m de tablilla de las dos dimensiones propuestas para hacer muestras y ensayos de laboratorio del material. Más del 80% del material corresponde a las dimensiones establecidas, lo que comprueba la propuesta teórica.

Figura 50 Comprobación de dimensiones propuestas



El material seleccionado corresponde a la especie *guadua angustifolia kunt* sembrada en el departamento del Quindío, la edad de corte es superior a los cuatro años, el material corresponde a cepas y basas, y se seleccionó con las dimensiones de diámetro y espesores más representativos del cultivo y de la especie, y más pertinentes para el laminado( ver marco teórico proceso de fabricación).

### 5.3.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad del material seco al aire en el momento del corte longitudinal es superior al 38 % la medición se hizo comparando el porcentaje de humedad perdida en el material luego de 24 horas de secado al horno a una temperatura de 100°C, método determinado para la madera.

El contenido de humedad óptimo para efectuar la adhesión debe ser entre el 7 y el 15% de acuerdo al ambiente en el que se va a utilizar el material, por esta razón se sometieron 7 metros de tablilla a secado al horno durante tres horas a una temperatura superior a los 70 grados, controlando el contenido de humedad, y se comprobó una drástica contracción volumétrica de las tabillas, con notables diferencias entre el nudo, la parte externa e interna(ver figura 51).

Figura 51 Diferencia de contracción en el secado



El material restante se secó en horno a una temperatura entre 30 y 50°C encontrando que un contenido de humedad aproximado de 12% se logra luego de 120 horas con las condiciones atmosféricas de Bogotá. La medida del contenido de humedad de este material se realizó con un xilohigrómetro midiendo cada metro en la parte interna donde no existe nudo.

El contenido de humedad final después del proceso descrito fue de 12% + o - 1.5 %, este material se utilizó para la fabricación de muestras del material para una evaluación de sus propiedades físico mecánicas que permitiera hacer un predimensionamiento de la propuesta estructural y mejorar las condiciones de fabricación para optimizar la resistencia del material.

Figura 52 Xilohigrómetro utilizado en la medición del contenido de humedad



### 5.3.3 Propiedades físico mecánicas.

La evaluación se hizo con base en un método internacional de ensayo de especímenes de madera en el laboratorio de ensayos mecánicos y estructuras del Instituto de ensayos e investigaciones (I.E.I.) de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia Bogotá.

Las propiedades físico mecánicas que se evaluaron fueron, la resistencia a esfuerzo de corte paralelo por compresión en la línea de pega, la resistencia a compresión paralela y perpendicular a las fibras y la resistencia a tracción paralela y perpendicular a las fibras.

El método de ensayo se basa en las normas americanas para el ensayo de materiales (A.S.T.M.) numeral D143 capítulo 04.10 método de ensayo para especímenes de madera y D 905 capítulo 15.06 corte paralelo por compresión.

Las probetas se elaboraron con las tablillas cortadas en Bogotá, cepilladas y cantoneadas en máquinas para madera luego del secado que se describió anteriormente. Se encolaron y prensaron siguiendo las recomendaciones técnicas de los fabricantes, relacionadas con la preparación, aplicación, esfuerzo y tiempo de prensado, tiempo de curado y manejo y seguridad.

Las dimensiones de la sección transversal de las tablillas es de 8 por 16 y 8 por 24 mm, las dimensiones de las probetas se basan en las que especifica la norma para cada uno de los métodos de ensayo para madera.

Las especificaciones técnicas propuestas en esta investigación se aplicaron en la fabricación de las muestras en especial la adhesión del lado interno con el externo de las tablillas y el intercalado de los nudos.

El primer ensayo se realizó a los especímenes adheridos con resina de urea formaldehído catalizado con sales y extendido con harina de trigo, la resina utilizada es fabricada por Interamericana de productos químicos (Interquím S.A.) en Medellín Colombia, su nombre comercial es polímero 216 FE L y lo describe como “una resina viscosa producida por la condensación de la urea con formaldehído, de aspecto blanco y opaco. Es una resina en estado intermedio de polimerización con muy bajo control de Formol libre. El curado o perfecta polimerización del polímero se logra con un catalizador y/o la acción del calor, lográndose un polímero rígido, cristalino y termoestable” (ver especificaciones técnicas anexo 5).

El catalizador utilizado es formulado para prensado en frío para una temperatura ambiente entre 20 y 25° C para un tiempo de curado medio y un tiempo de armado medio, el catalizador es un polvo de color blanco fabricado por Interamericana de productos químicos (Interquím S.A.) en Medellín Colombia, y su nombre comercial es catalizador M 8

La preparación del adhesivo se hace disolviendo en agua los componentes con una relación de 100 partes en peso de resina 25 partes de agua, 25 partes de extensor, y 5 partes de catalizador aplicando de 150 a 180 gramos por m<sup>2</sup> con un esfuerzo de presión de 10 Kg. cm<sup>2</sup> constante durante 8 horas en unas condiciones atmosféricas como las de Bogotá.

Para este adhesivo se ensayan 27 probetas a esfuerzo de corte por compresión paralelo a la línea de pega, el esfuerzo último en la línea de

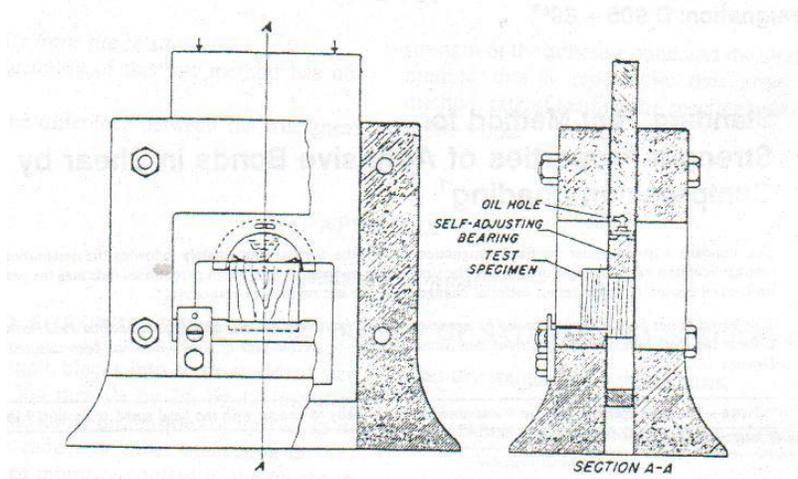
pega esta entre 11.05 y 67.2 Kg. /cm<sup>2</sup> con promedio en 47.07% y desviación estándar de 14.86%.

Tabla 8. Esfuerzos de rotura a corte paralelo con UF

No. PROBETA	ESFUERZO (Kg./cm <sup>2</sup> )
1	64.21
2	41.03
3	48.77
4	26.85
5	29.23
6	49.27
7	33.02
8	22.11
9	11.51
10	15.48
11	11.05
12	34.74
13	12.63
14	15.26
15	51.28
16	21.12
17	23.63
18	36.32
19	24.50
20	29.93
21	11.50
22	30.00
23	23.00
24	20.00
25	13.00
26	17.50
27	20.00

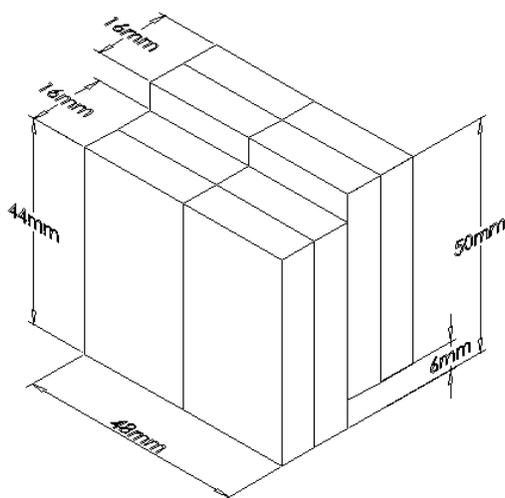
Los ensayos se realizaron en una prensa universal con capacidad máxima de 5000 kg, el avance es de 5 mm por minuto y el dispositivo es el que especifica el método de ensayo A.S.T.M. D 905 (15.06) (ver figura 53).

Figura 53 Dispositivo de ensayo para corte paralelo ASTM



Las dimensiones de la probeta se basan en las dimensiones de la misma norma y se utilizan cuatro tablillas de guadua pegadas de canto como muestra la figura 54.

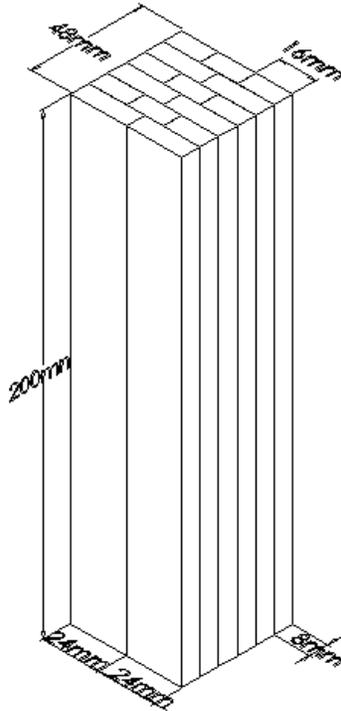
Figura 54 probeta de ensayo para corte



Para evaluar el comportamiento a esfuerzo de compresión paralela a la fibra, se prepararon 11 probetas con el mismo adhesivo y las tablillas en las condiciones descritas anteriormente. El ensayo se realizó en una prensa hidráulica con capacidad máxima de 10000 Kg. Las dimensiones de las probetas se basan en las especificadas en el método de ensayo (A.S.T.M.) numeral D143 capítulo 04.10 método de ensayo para especímenes de

madera y se utilizó la forma de armado propuesta para esta investigación ( ver figura 55).

Figura 55 Probeta de ensayo par compresión paralela



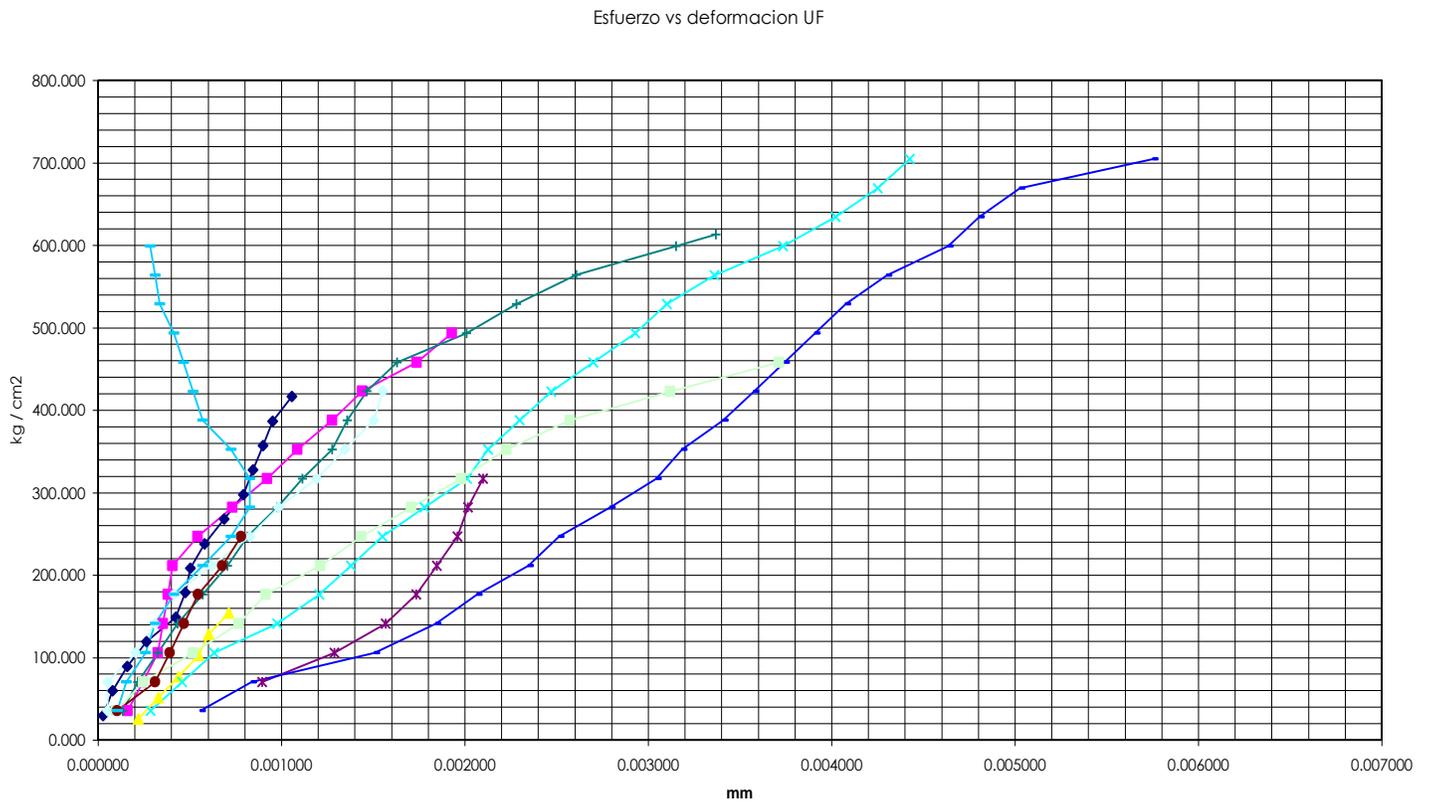
El esfuerzo último está entre 179.598 y 704.476 Kg. / cm<sup>2</sup> con promedio en 471.780 y desviación estándar de 172.026 Kg. / cm<sup>2</sup> . La falla principal se presenta en las líneas de pega y la falla se presenta principalmente por pandeo en las tablillas, lo que ocasiona una falla frágil en la línea de pega con un desprendimiento total, antes de que se presente falla en las tablillas.

Tabla 9. Esfuerzos últimos a compresión paralela con UF

No probeta	Esfuerzo Kg. /cm <sup>2</sup>
p1	416.42
p2	493.22
p3	179.60
p4	704.47
p5	317.01
p6	613.07
p7	704.48
p8	422.78
p9	457.93
p10	281.80
p11	598.82

Para cada muestra se mide la deformación en centésimas de milímetro para relacionarla con la carga cada 1352.96 kilogramos.

Figura 56 Grafica esfuerzo deformación para UF



En la figura 56 se observa la deformación en relación al esfuerzo para las 11 muestras con UF esta gráfica y el tipo de falla muestran un comportamiento rígido del material.

El mismo procedimiento y especificaciones se utilizó en la evaluación del material utilizando un adhesivo de contacto a base de policloropreno vulcanizado con un poliisocianato y aplicado sobre un imprimante.

El adhesivo, el vulcanizante y el imprimante son fabricados por Pegantes industriales (PIN Ltda. ) en Bogotá Colombia, y el nombre comercial es PC 3000 para el adhesivo y PV 2 para el vulcanizante y los describe como “ácidos fosfóricos o poliisocianatos que mejoran las propiedades de los adhesivos, agilizan el proceso de secado, mejoran la resistencia ante agentes de ataque al pegue ya realizado (altas temperaturas, agentes químicos, agua, aceites, grasas) o a los que atacan durante el proceso de pegue (grasas, calor, plastificantes y desmoldantes)” (ver especificaciones técnicas en anexo 6).

La preparación del adhesivo se hace adicionando el vulcanizante al adhesivo y al imprimante en porcentaje de 1.0 al 2.5%. Entre la aplicación del imprimante y el adhesivo la superficie debe quedar expuesta 15 minutos antes de aplicar el adhesivo el cual debe quedar expuesto también 15 minutos antes de realizar el contacto, por encima de ese tiempo el adhesivo reacciona y no puede efectuar la adhesión. El vulcanizante es reactivo con la humedad por esto debe conservarse herméticamente sellado. La densidad de aplicación es de 150 a 180 gramos por m<sup>2</sup> con un esfuerzo de presión de 10 Kg cm<sup>2</sup>. El esfuerzo de presión debe ser de 40 a 60 PSI constantes durante mínimo 5 minutos.

Para conocer el comportamiento del material utilizando este adhesivo se fabricaron 20 probetas para ensayo de corte paralelo como la que muestra la figura 54. El procedimiento de ensayo, especificaciones de la probeta avance y condiciones del ensayo son similares a las que se describe para UF.

Se evalúa el comportamiento del material a compresión paralela a la fibra, para esto se elaboraron 20 probetas como muestra la figura 55 con condiciones de ensayo similares a las que se describieron para el adhesivo a base de UF.

El esfuerzo último está entre 379.750 y 522.466 Kg. / cm<sup>2</sup> con promedio en 465.242 y desviación estándar de 37.873 Kg. / cm<sup>2</sup>. La falla principal que se

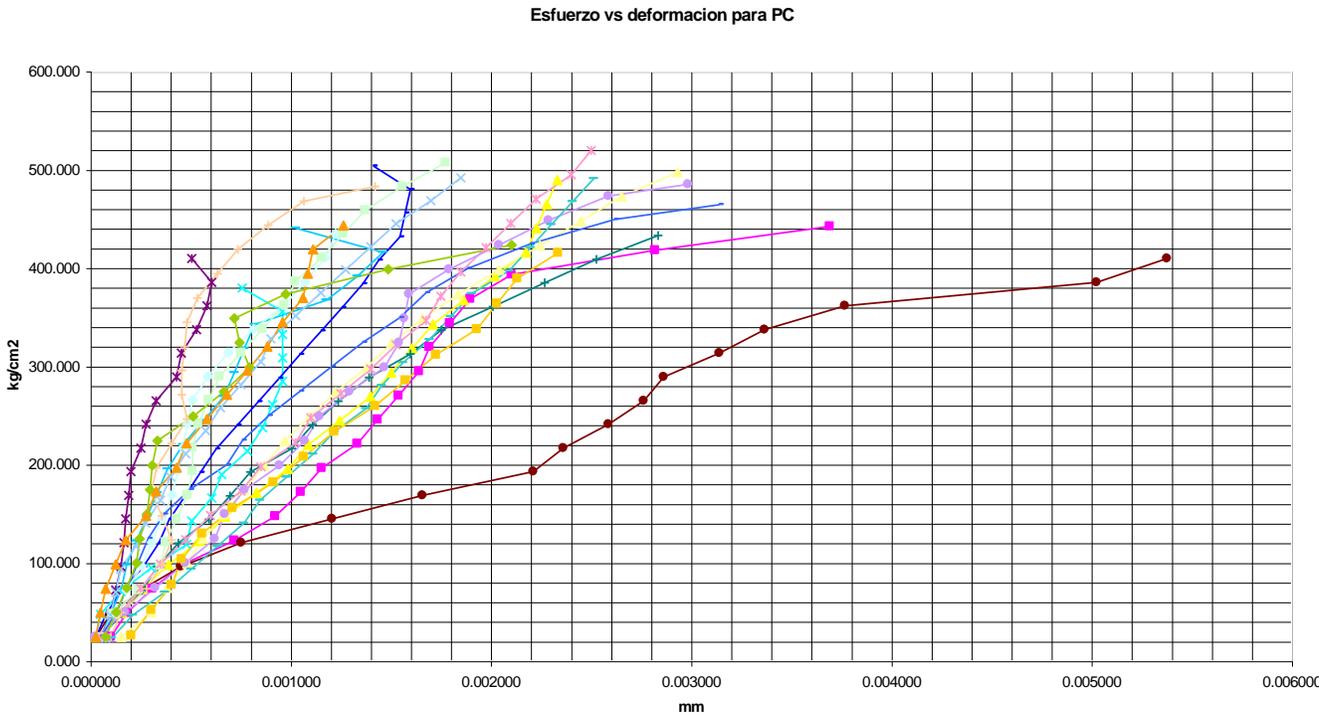
presenta es pandeo lateral de las tablillas lo que produce una falla elástica en la línea de pega como cizallamiento o tracción perpendicular.

Tabla 10. Esfuerzos últimos a compresión paralela con PC

No probeta	Esfuerzo ultimo kg/cm2
p1	442.478
p2	489.505
p3	379.750
p4	422.297
p5	433.789
p6	471.410
p7	503.960
p8	479.698
p9	434.730
p10	507.185
p11	522.466
p12	491.990
p13	519.673
p14	485.028
p15	482.925
p16	464.535
p17	490.897
p18	423.511
p19	415.530
p20	443.485

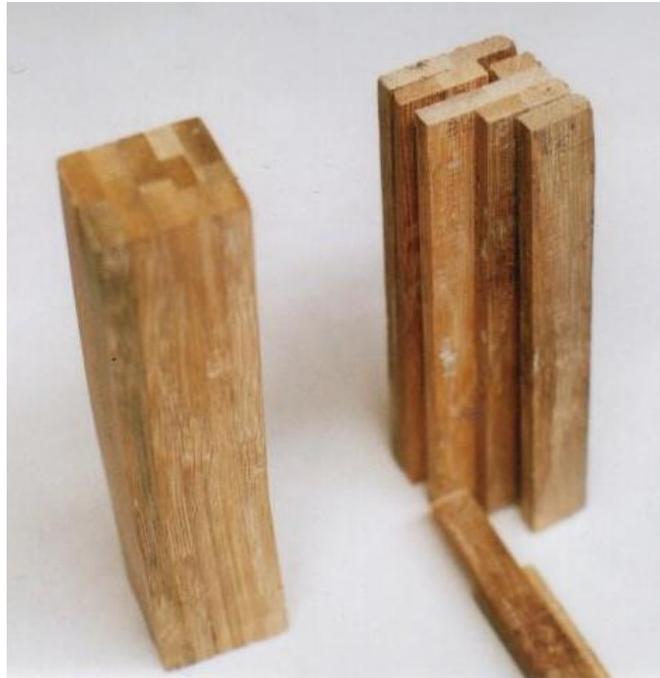
Para cada muestra se mide la deformación en centésimas de milímetro para relacionarla con la carga cada 500 kilogramos, esto con el objeto de encontrar el módulo de elasticidad.

Figura 57 Gráfica esfuerzo vs. deformación para PC



La relación entre el esfuerzo y la deformación que se ve en la gráfica de la figura 56 y la descripción de falla del material muestran un comportamiento mas elástico y un aumento en el esfuerzo último para PC comparándolo con UF donde el tipo de falla limita la capacidad de carga del material.

Figura 58 Diferencia en la falla por pandeo entre PC y UF



También se hace una evaluación del material ante el esfuerzo de compresión y tracción perpendicular a la fibra basándose en el método de ensayo (A.S.T.M.) numeral D143 capítulo 04.10 método de ensayo para especímenes de madera, utilizando la forma de armado propuesta para esta investigación y relacionando la posición vertical y horizontal

La diferencia entre la resistencia a tracción perpendicular en posición vertical (ver figura 59) es 3.75 veces mayor a la resistencia en posición vertical, esto explica que la falla por pandeo lateral a compresión se presente en el eje perpendicular a las tablillas. Y se convierte en un criterio para el trabajo del material en la estructural reticulada.

Figura 59 Posición vertical y horizontal para tablillas a tracción perpendicular



También se hace una evaluación del material ante el esfuerzo axial de tracción paralela a las fibras utilizando el método de ensayo (A.S.T.M.) numeral D143 capítulo 04.10 método de ensayo para especímenes de madera. La diferencia con el método internacional para ensayo de bambú es que en el último, se utiliza una tablilla completa y el comportamiento resulta diferente al laminado pegado por variables como el intercalado de nudo, la ausencia de la cutícula y el adhesivo.

Para este ensayo se utilizaron 20 muestras del material con las dimensiones que muestra la figura 60, basadas en la misma norma.

Figura 60 Probeta para tracción paralela a la fibra ASTM D143(09.10)

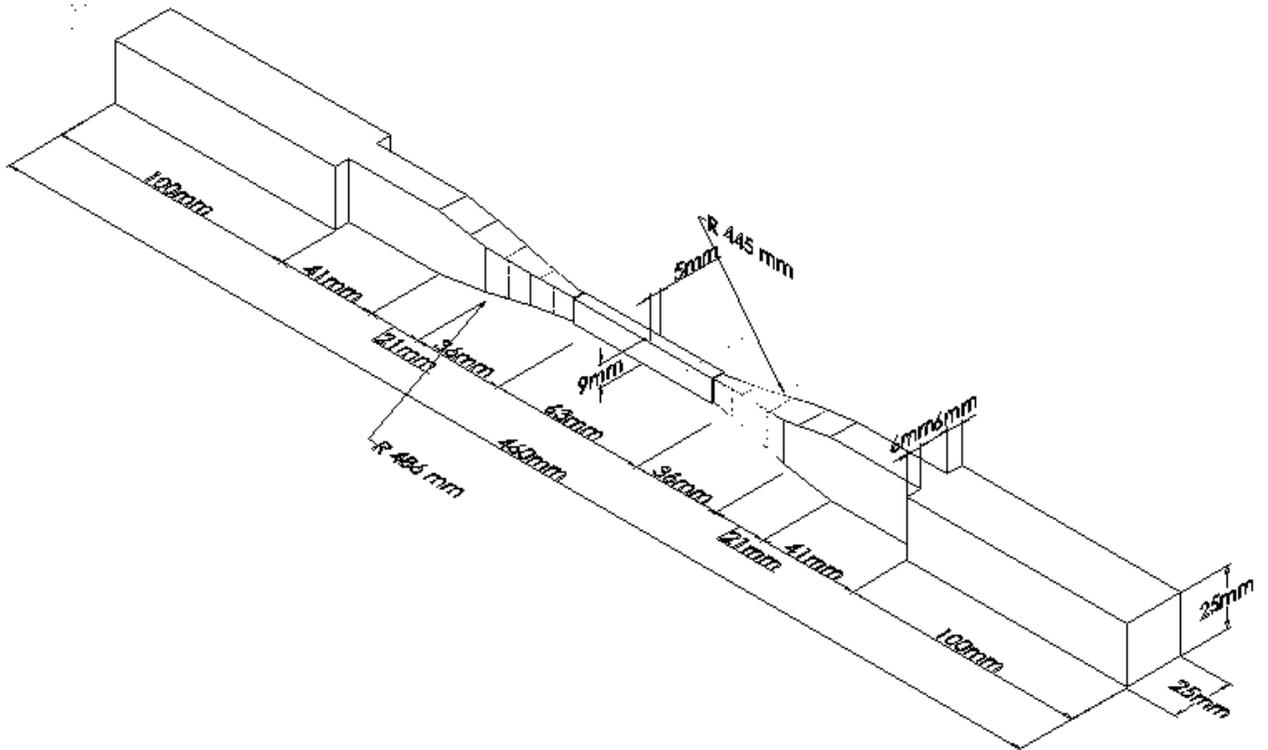


Tabla 11. Esfuerzos últimos a tracción paralela con PC

No de probeta	esfuerzo Kg. / cm <sup>2</sup>
p1	880.47
p2	370.37
p3	1057.69
p4	1128.57
p5	1198.38
p6	593.30
p7	756.30
p8	888.89
p9	777.78
p10	985.71
p11	938.46
p12	1438.60
p13	974.36
p14	916.67
p15	1000.00
p16	929.29
p17	941.18
p18	766.67
p19	1228.07
p20	1215.69

El esfuerzo último está entre 370.37 y 1438.60 Kg. / cm<sup>2</sup> con promedio en 949.32 Kg. / cm<sup>2</sup> y desviación estándar de 237.36. La principal falla se presenta en la tablilla en donde hay (ver figura 61).

Figura 61 Falla del material por tracción paralela



#### 5.3.4 Uniones

Para la evaluación de las uniones planteadas se tiene en cuenta tres criterios, que se basan en las propuestas de diseño que se han planteado, estos criterios son la eficiencia estructural, la posibilidad de que el elemento tenga una aplicación con facilidad para el montaje y desmontaje, y el acabado estético de la unión que resalte las cualidades de la guadua laminada pegada.

Para la primer forma de armado se evalúa la posibilidad de unir los elementos con solo pernos debido a la dificultad de hacer cajas para las platinas, por esto, se evalúa el maquinado, ensayando la perforación con diferentes diámetros en sentido paralelo y perpendicular al eje del elemento. El mayor diámetro antes de presentar falla por tracción perpendicular a la línea de pega está en 5/16 de pulgada (9.86 mm), tanto en sentido perpendicular como paralelo al eje (ver figura 62).

Figura 62 Maquinado con varios diámetros primera propuesta



Para la segunda forma de armado (figura 39) se ensaya también el maquinado con perforaciones de diferentes diámetros, el material no presenta falla incluso con diámetros de 1 pulgada(25.4 mm) diámetro utilizado para probetas de tracción perpendicular. Esto permite hacer cajas en el material para encajar la cabeza del perno tal como en la madera, (ver figura 63).

Figura 63 Maquinado con varios diámetros y cajas segunda propuesta



Para la propuesta de unión con platina interna se ensaya la posibilidad de hacer cajas para ocultar las platinas lo cual tiene una ventaja estética y

estructural porque la guadua laminada pegada aísla el elemento de unión ante condiciones extremas de calor ( ver figura 64)

Figura 64 Propuesta de unión con platina interna

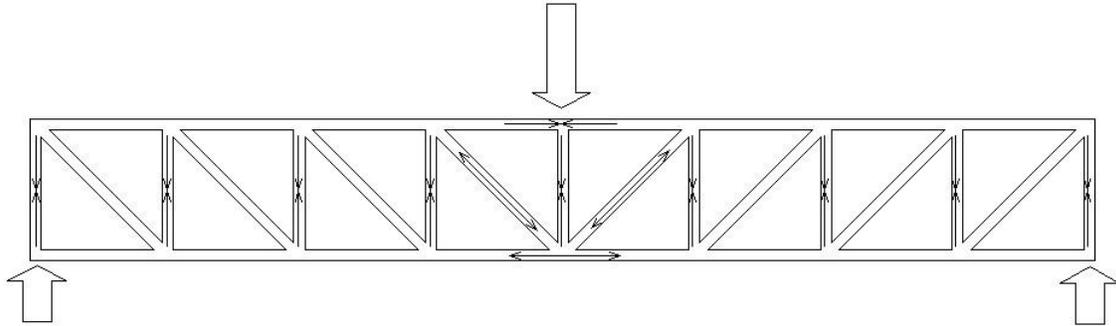


### 5.3.5 Sistema estructural

El sistema estructural propuesto está conformado por elementos a tracción y a compresión axial, es un reticulado plano tipo pratt, donde las diagonales están solicitadas a tracción.

En un elemento recto sometido a flexión, es decir cargado perpendicularmente al eje del elemento, las fuerzas internas resultantes se descomponen en tracción, en la zona inferior al eje y compresión en la zona superior del mismo. La deformación del elemento se restringe aumentando la altura del elemento, es decir la distancia hacia el eje, porque el área de inercia de la sección aumenta. El reticulado plano logra aumentar la altura del elemento mediante barras verticales que transmiten el esfuerzo entre los cordones inferior y superior del elemento, trabajando a compresión axial. Las diagonales evitan la deformación de los planos conformados por las barras y los cordones, trabajando a tracción axial.

Figura 65 Sistema de transmisión de cargas



La propuesta utiliza elementos estructurales rectos a flexión armados por reticulados planos conformados de ésta manera. Los elementos se dimensionan de acuerdo a las posibilidades de fabricación de los laminados para esta investigación, que por ahora se limitan a longitudes de 1.5m y secciones de 48mm.

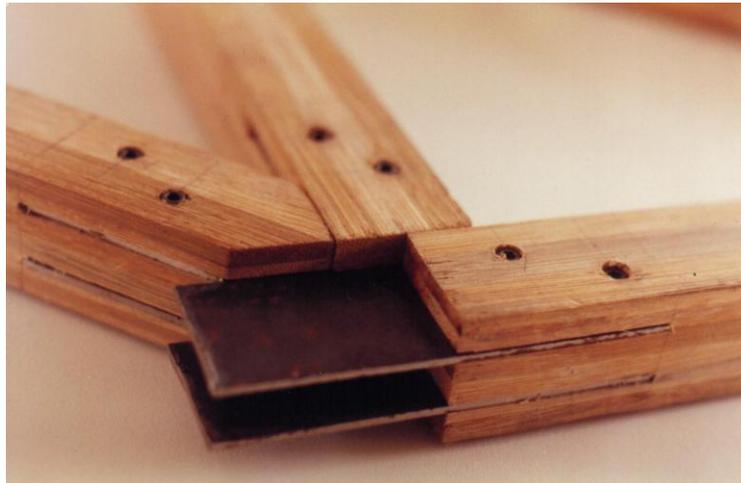
La modulación de las piezas están en proporción a los materiales de construcción que utilizan unidades del sistema inglés es decir 4 pies, como son las láminas de algunos materiales como aglomerados, aluminio, acero, plástico o vidrio que tienen dimensiones de 4 x 8 pies. Las dimensiones también se ajustan a un sistema de corte que permita la menor cantidad de desperdicio, es decir, cortar dos piezas de 0.5 y 0.7 m de una de 1.2m ver anexo 7).

Las uniones se resuelven por medio de uniones metálicas con platinas y pernos, que se insertan en los elementos, tal como se ve en las figuras 47 a 50. Estas uniones tienen dos inconvenientes en su solución, que se modifican para la propuesta final, ver anexo 7. La utilización de una sola platina concentra el esfuerzo en un área mayor ampliando la carga por superficie en ese punto y ocasionando una falla por corte paralelo en el elemento de guadua laminada pegada. La utilización de un solo perno produce el mismo problema en el otro sentido aumentando el corte doble sobre el perno y una falla por corte paralelo sobre el elemento de guadua laminada pegada.

La modificación en la unión se hace utilizando dos platinas de menor espesor y dos pernos de menor diámetro haciendo una distribución más uniforme de las cargas y evitando la coincidencia de los pernos sobre una

misma línea. Los cortes de los extremos se modifican en consecuencia con la dirección de la carga.

Figura 66 Unión con perno y platina modificada



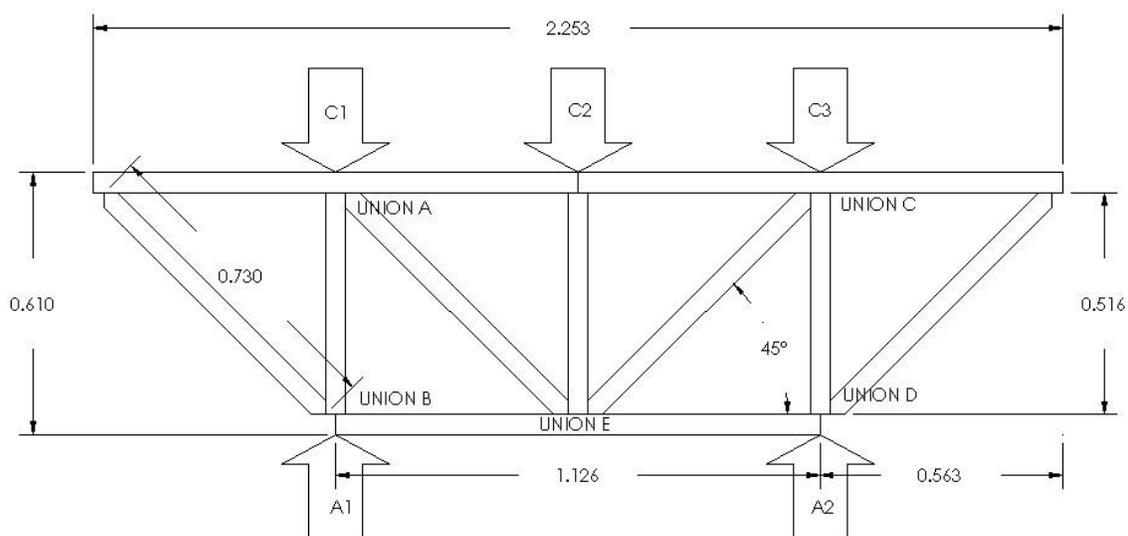
Para la evaluación del sistema estructural se hace un modelo a escala real de un tramo del reticulado utilizando las especificaciones propuestas en el punto 7.2.1 y 7.2.2, para la fabricación del laminado en cuanto a materia prima (especie, zona de la sección longitudinal, dimensiones, zona de la sección transversal) contenido de humedad, dimensiones de las tablillas, forma de armado, adhesivo, prensado y curado.

Las uniones resueltas a escala real para el modelo también tienen las especificaciones propuestas en cuanto a espesor de platinas, diámetro de los pernos, distancia al borde y ángulos de corte ver anexo 7.

El montaje para el ensayo del prototipo a escala real busca evaluar el comportamiento de las uniones modificadas, interactuando en conjunto cada una de las uniones tipo.

El tramo fabricado se apoya en las uniones del cordón inferior separadas 1.16 m. Y se aplica carga sobre cada una de las tres uniones del cordón inferior (ve figura 67).

Figura 67 Montaje para ensayo del prototipo



Para evaluar la deformación por pandeo lateral del sistema se mide el desplazamiento horizontal cada 500 Kg. en los puntos de apoyo sobre el cordón inferior y superior utilizando indicadores de cuadrante,. También se mide el desplazamiento vertical en el punto medio del cordón inferior

cada 500 Kg. utilizando un indicador de cuadrante como el que aparece en la figura 68 .

Figura 68 Indicador de cuadrante para desplazamiento horizontal



El desplazamiento horizontal al momento de la falla en el cordón superior es mayor en la unión A (3.83 mm) con relación a la unión B (1.21mm). En el cordón inferior es mayor en la unión C (2.87 mm) que en la unión D (1.12 mm).El desplazamiento vertical en la unión E es de (3.56 mm)( ver tabla 12) .

Los elementos de guadua laminada pegada no presentan fallas debidas a los esfuerzos de tracción y compresión axial. las tres uniones tipo propuestas, no presentan deformaciones importantes ni fallas por rotura aplastamiento o pandeo antes de 3500 Kg.

La carga se hace sobre el prototipo hasta 3500 Kg., punto en el cual se presenta falla en las uniones donde se apoya, la falla se presenta por el giro de las platinas debido a la excentricidad entre el punto de apoyo y el punto de aplicación de la carga. Ésta unión no está diseñada para éste esfuerzo, que es el más crítico en una línea de pega porque ejerce tracción en dirección oblicua a la línea de pega y a las fibras, por tanto se presenta falla por el desprendimiento de las tablillas ante la acción de los pernos.

Tabla 12. Deformaciones registradas en el ensayo al prototipo.

Union A		
Carga vertical en Kg.	Desplazamiento positivo en mm	Desplazamiento negativo en mm
500	0.48	0
1000	1.25	0
1500	1.56	0
2000	1.90	0
2500	2.75	0
3000	3.71	0
3500	3.83	0
Union B		
500	0	0.12
1000	0	0.26
1500	0	0.32
2000	0	0.68
2500	0	0.87
3000	0	1.08
3500	0	1.21
Union C		
500	0.11	0
1000	0.39	0
1500	0.89	0
2000	1.05	0
2500	1.26	0
3000	1.87	0
3500	2.87	0
Union D		
500	0.25	0
1000	0	0.19
1500	0	0.26
2000	0	0.35
2500	0	0.72
3000	0	0.89
3500	0	1.12
Union E		
500	0	0.42
1000	0	1.12
1500	0	1.25
2000	0	1.81
2500	0	2.65
3000	0	3.21
3500	0	3.56

### 5.3.6 Costo beneficio

Los aspectos claves en la evaluación de costos son, el proceso de fabricación del laminado, la construcción del reticulado, la puesta en obra y el mantenimiento.

El costo de fabricación del laminado es alto por la falta de una cadena de producción consolidada que asegure la fabricación de un material de alta calidad. La cadena inicia con la obtención de tablillas en el cultivo, y sigue con la inmunización, secado, cantoneado, encolado y prensado. La deficiencia se encuentra en los tres últimos niveles de la cadena debida a la falta de un desarrollo tecnológico apropiado al material.

El avanzado conocimiento en la propagación, silvicultura, cosecha y poscosecha, así como la cercanía de plantaciones a las ciudades y la cantidad de área cultivada, representan una ventaja en la oferta de la materia prima en Colombia, en cuanto a la calidad y el costo.

La obtención, inmunización y secado de las tablillas hecha por el fabricante, aumenta el costo final del laminado por el transporte de trozas sin secar, la falta de maquinaria de gran rendimiento adecuada a la guadua, la ocupación de espacio en la inmunización y secado, la ocupación de mano de obra, y el consumo de energía en el secado.

Este proceso hecho por el cultivador representa una ventaja en la calidad de las tablillas cuando se recurre al curado en la mata y secado solar, el cultivador aumenta el valor agregado con una mínima inversión antes de sacar la guadua de la plantación, y el fabricante cuenta con varios proveedores que aseguran un volumen constante, además de disminuir el costo del transporte por el menor volumen y peso de las tablillas secas frente a las trozas cilíndricas.

El encolado es el nivel más crítico en el proceso de fabricación, no solo constituye la clave en la calidad y durabilidad de la estructura, sino que, es determinante en el costo final debido al adhesivo, porque además del precio, hay factores que pueden aumentar o disminuir los costos, tales

como el tiempo de prensado constante, la necesidad o no de temperatura, y la mecanización de la aplicación.

El adhesivo propuesto en ésta investigación (adhesivo de contacto a base de policloropreno) requiere poco tiempo de presión constante, no requiere temperatura alta para la adhesión, puede mecanizarse la aplicación mediante aire comprimido, su durabilidad puede aumentar en resistencia a calor y humedad extrema mediante el vulcanizado (reaccionando con poliisocianatos antes de aplicarlo no reacciona posteriormente con el agua ni el aire húmedo) y también su adherencia puede aumentar con un imprimante (aplicando a la superficie un polímero similar menos denso y viscoso que prepara la superficie para la delgada película de adhesivo).

El costo de los insumos (adhesivo, imprimante, vulcanizante, disolvente) varía con el proveedor, pero es proporcional a los adhesivos no estructurales utilizados comúnmente para madera. El impacto en el ambiente y la salud se pueden controlar con estrategias de seguridad industrial, que representan otro costo.

La fabricación del reticulado en condiciones normales de humedad y afilado representa un costo proporcional al trabajo con madera estructural y operarios con un nivel similar de capacitación. Las uniones metálicas tienen mayor costo que las uniones con adhesivos. Las uniones con adhesivos implican un desarrollo tecnológico para determinar la geometría y fabricación de los ensamblajes para el laminado de guadua.

La puesta en obra del reticulado representa un costo bajo por la facilidad para el transporte y el montaje, La estandarización de los elementos reduce el desperdicio y el tiempo de ejecución de la obra. La especialización de los operarios no es muy alta para el montaje y desmontaje de la estructura, así como los equipos utilizados.

Toda estructura o construcción requiere mantenimiento, el reemplazo de piezas y su reutilización es una ventaja de la propuesta. La calidad y durabilidad están garantizadas por las especificaciones técnicas y la protección por diseño.

Como primera conclusión está que, el costo de la propuesta es difícil de establecer porque hay aspectos que necesitan más desarrollo tecnológico, y esto es determinante en el costo, además, aunque la demanda de tecnologías limpias y materiales renovables es alta, en la

industria hay materiales con mayor desarrollo tecnológico que desplazan a los primeros.

La evaluación del costo debe hacerse con relación al beneficio que traería desarrollar una tecnología de laminado pegado apropiada a la guadua, basada en la tecnología desarrollada para la madera, que ha demostrado tener mayores beneficios para su utilización en la industria de la construcción.

Dentro de estos beneficios aplicables a la guadua como material de origen vegetal, son:

- La transformación de gas carbónico durante el proceso de crecimiento, y la liberación de oxígeno.
- La relación entre el peso y la resistencia es baja, disminuyendo la carga muerta en una estructura.
- Comportamiento óptimo ante cargas debidas a sismo por su flexibilidad, capacidad de disipar la energía, reducción del daño o colapso ante sismos moderados
- La expansión térmica y la conductividad son bajos, disminuyendo el riesgo de colapso en condiciones extremas de calor.
- Comportamiento ventajoso ante el fuego, porque aumenta la resistencia con la perdida de humedad y su perdida de capacidad portante solo se disminuye en cuanto se disminuyen sus dimensiones.
- Comportamiento favorable en ambientes eléctricos o químicos corrosivos

Dentro de los beneficios de la madera laminada que podrían alcanzar la guadua laminada pegada son:

- La posibilidad de obtener elementos de grandes dimensiones, mediante la adición casi indefinida de piezas de dimensiones reducidas.
- La eliminación de irregularidades y defectos como grietas, nudos, deformaciones de las tablillas seleccionando el material de la mejor calidad.
- La mejor calidad en el secado de las piezas por la reducida sección transversal de las tablillas.
- La posibilidad de posicionar las tablillas dentro del elemento estructural de acuerdo a su resistencia y calidad donde sea más necesaria.

- Los bloques laminados pueden variar en su forma para disminuir la profundidad o para ahorrar material donde sea posible.
- La mayor durabilidad de los elementos ante ataques de hongos e insectos, por una mayor eficacia en la inmunización de tablillas de menor sección.
- La posibilidad de curvar elementos estructurales por la relación entre el espesor y la longitud de las tablillas.
- El mejoramiento de la resistencia de los elementos laminados frente al material sin procesar lo cual significa ahorro de material.

Frente a la madera la guadua tiene beneficios que aventajan especies foráneas comúnmente utilizadas, como son:

- El cultivo de la guadua requiere una inversión baja, es una especie nativa y crece en ecosistemas cercanos a las grandes ciudades.
- El conocimiento popular y científico sobre su biología, silvicultura cosecha, poscosecha y preservación permiten contar con materia prima de calidad producida de manera sostenible.
- El crecimiento de la guadua es más rápido que en la madera, esto permite renovar el cultivo un mayor número de veces beneficiando el ambiente y garantizando volúmenes altos de manera constante y sostenible.
- La anatomía de la raíz (rizoma) beneficia el suelo porque compacta y estructura los sustratos evitando la erosión y conduciendo el cauce de los ríos.
- Los bosques reforestados con guadua no desplazan la flora y la fauna del ecosistema circundante y permite hacer otros cultivos en el mismo suelo.
- La fijación de dióxido de carbono es mayor en la guadua se ha demostrado que no solo en las hojas y las ramas se acumula biomasa sino también en el tallo (culmo) y en la raíz(rizoma)

El laminado pegado de guadua específicamente tiene ventajas incluso sobre maderas densas clasificadas como estructurales.

- La resistencia de las fibras ante esfuerzos de tracción axial en la zona externa entre nudos, igualan al acero y superan la resistencia de las fibras de la madera.
- El comportamiento elástico del material es un beneficio ante cargas debidas a sismos fuertes evitando el colapso del material o la estructura completa.

- Las tablillas obtenidas de la zona externa de la guadua son menos atacables por insectos y la zona entre nudos es casi inmune a este ataque.
- La calidad cromática de la guadua es una ventaja para su apariencia, sobretodo en variedades (biotipos dentro de la misma especie) que presentan líneas o betas como *guadua angustifolia kunt* variedad *bicolor* y *guadua angustifolia kunt* variedad *nigra*.
- La posibilidad del material de ser oscurecido o blanqueado en el proceso de fabricación son otra beneficio estético que presenta ventajas para el material.
- El acabado del material cepillado es agradable y podría prescindir de acabados posteriores como lijado o pintura.

Para la evaluación de costo-beneficio hecha en esta investigación se elabora una matriz de costos y una tabla de ventajas por categorías, para poder analizar la relación del costo con las ventajas del material y la propuesta.

Tabla 13. Matriz de debilidades y fortalezas en el costo

Item	debilidades	fortalezas
Proceso de fabricación del laminado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de cadenas productivas consolidadas</li> <li>• Falta de investigación y desarrollo tecnológico</li> <li>• Costos altos en la obtención de tablillas por el fabricante</li> <li>• Necesidad de adhesivos de alta calidad importados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia prima con calidad disponible cerca de las ciudades.</li> <li>• Reducción de costos y aumento de la calidad en la obtención de tablillas por el cultivador.</li> <li>• Reducción del costo y aumento de la calidad con adhesivos de contacto nacionales</li> </ul>
Proceso de construcción del reticulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo alto de uniones metálicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo proporcional al trabajo con madera estructural en maquinaria y especialización de la mano de obra</li> </ul>
Puesta en obra		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad para el transporte y el montaje</li> <li>• Reducción del desperdicio y menor tiempo de ejecución.</li> <li>• Reducción de equipos y personal especializado</li> </ul>
Mantenimiento		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de reemplazar y reutilizar elementos</li> <li>• Durabilidad frente a ataque de insectos y condiciones extremas de humedad</li> </ul>

Tabla 14. Cuadro comparativo ventajas en la industria de la construcción

Nivel de comparación	Ventajas del material laminado con guadua angustifolia kunt
Frente a otros materiales en la industria de la construcción (Acero, aluminio, concreto, cerámicos, pétreos, plásticos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No genera gas carbónico, lo retiene en el crecimiento de la planta</li> <li>• Relación baja entre peso y resistencia, disminuyendo la carga muerta en una estructura.</li> <li>• Ventaja frente a cargas debidas a sismo por flexibilidad, reduciendo el colapso en sismos moderados.</li> <li>• Ventaja frente a fuego por el calentamiento lento que evita el colapso de la estructura antes de extinguir el fuego.</li> <li>• Baja conductividad y dilatación por calor, reduciendo el colapso en condiciones extremas de calor</li> <li>• Comportamiento favorable en ambientes eléctricos o químicos corrosivos</li> </ul>
Frente a madera y guadua laminada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos de grandes dimensiones adicionando casi indefinidamente piezas cortas</li> <li>• Eliminación de defectos y selección del material de mejor calidad</li> <li>• Mejor secado e inmunización en piezas cortas antes del laminado</li> <li>• Variación en el armado de acuerdo a la necesidad estructural</li> <li>• Posibilidad de curvar elementos sin desperdicio y orientar las fibras en el sentido del trabajo estructural</li> <li>• Mayor resistencia del material ahorrando material</li> <li>• Variación de la forma y reducción sección para ahorrar material</li> </ul>

Nivel de comparación	Ventajas del material laminado con guadua angustifolia kunt
Frente a maderas nativas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor fijación de dióxido de carbono</li> <li>• Rápido crecimiento, siendo más productiva</li> <li>• Protege el suelo de la erosión por la anatomía de su raíz(rizoma)</li> <li>• No desplaza la flora y la fauna comparte el suelo con otros cultivos</li> <li>• Especie nativa cercana a las ciudades inversión baja en el cultivo,</li> <li>• Conocimiento en su cultivo sostenible y de calidad</li> </ul>
Frente a maderas nativas y otros bambúes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor resistencia en las fibras de la zona externa entrenudos.</li> <li>• Comportamiento elástico del material ante cargas altas</li> <li>• Mayor resistencia al ataque de hongos e insectos en tablillas de la zona externa entre nudos</li> <li>• Mejor apariencia en variedades de color o con líneas</li> <li>• Posibilidad de oscurecer o blanquear el material en la fabricación</li> <li>• Acabado final agradable reducción de acabados posteriores</li> </ul>

## 6 CONCLUSIONES

La investigación fundamenta y actualiza las bases teóricas sobre los materiales y sobre los procesos de fabricación y evaluación del material, con esto se logra definir y evaluar una propuesta de reticulado plano fabricado con elementos de guadua laminada pegada.

De la propuesta y evaluación se concluye que el planteamiento de utilizar para un sistema estructural elementos fabricados con la tecnología del laminado pegado, y la especie de bambú propuesta, es técnicamente factible y presenta ventajas demostradas experimentalmente, que permiten avanzar en otras posibilidades estructurales para el material y para el sistema estructural.

Las conclusiones técnicas específicas de la evaluación de la propuesta que permiten avanzar en nuevos estudios e investigaciones sobre el tema son:

- Es posible utilizar las dimensiones de tablillas estudiados para los elementos de la propuesta estructural que se plantea en esta investigación, como lo demuestra la evaluación que se hizo. De esta misma manera se pueden plantear dimensiones para otros elementos estructurales consiguiendo estandarizar los cortes.
- Es preferible un proceso de corte y secado de las tablillas antes del proceso del cantoneado, para beneficio de quien cultiva y de quien fabrica la estructura, como se demostró en la evaluación que se hizo, el secado acelerado disminuye la calidad del material y aumenta la contracción volumétrica y el proceso óptimo requiere una inversión en espacio y alarga el tiempo del proceso.
- Es conveniente utilizar basas (nombre dado a los 11 metros del culmo o tallo de la guadua medidos desde la cepa ver anexo 4) para fabricar elementos estructurales de guadua laminada pegada, a pesar de que la cepa (nombre dado a los 3 metros del

culmo o tallo de la guadua medidos desde el rizoma ver anexo 4) tiene mayor diámetro, espesor y ausencia de ramas, tiene una ligera curvatura que disminuye el aprovechamiento, dificulta el corte, y presenta menos distancia entre nudos, por tanto, más nudos por metro lineal además tiene menor dureza y resistencia<sup>35</sup>.

- El esfuerzo último del material ante sollicitación axial de compresión y tracción puede compararse con una madera tipo A <sup>36</sup> según la evaluación hecha a la guadua laminada pegada hecha en esta investigación con esto se comprueba una posible aplicación estructural de los laminados de guadua .
- La utilización de un adhesivo de contacto a base de policloropreno PC agiliza el proceso de fabricación de los elementos , en los procesos de prensado y curado en frío, comparado con la utilización de una resina de urea formaldehído UF como adhesivo, además de reducir el comportamiento frágil del material.
- Intercalar los nudos mejora la resistencia en el material, no intercalar o dejar distancia muy corta entre ellos produce fallas localizadas en los elementos en sentido paralelo a la fibra. Las fibras de la zona del tabique son más cortas y se interrumpen longitudinalmente, fuera de los tabiques las fibras largas refuerzan esos puntos. En la base de las ramas los nudos interrumpen y desvían las fibras, estos deben eliminarse.
- Un factor determinante en el armado de la estructura es la posición del elemento con respecto a los ejes de la sección transversal. En la evaluación del material se demostró la diferencia de la resistencia entre la posición vertical y horizontal de las tablillas en una sección de forma cuadrada.
- El material permite un maquinado similar al de la madera en condiciones normales de humedad y afilado, como se demuestra

---

<sup>35</sup> El avance en otras investigaciones demuestra que la composición microscópica es diferente en la cepa y en la basa, por lo general en la basa hay menor diámetro y distancia entre los haces vasculares, por tanto menos tejido blando (parénquima), probablemente por la dinámica de crecimiento del bambú . Ver HIDALGO LÓPEZ, Oscar. 1975 Bambú, su cultivo y aplicación en la fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía 1975 y LONDOÑO P. Ximena; CAMARGO Gloria P.: RIAÑO Néstor M. ; LÓPEZ Yamel Caracterización anatómica del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth, Pereira 2002 Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua. Universidad Tecnológica de Pereira

<sup>36</sup> Grupo de clasificación estructural para especies de madera que define la NSR 98 con  $F_c$  y  $F_t = 14.5$  Mpa (146.83 Kg/cm<sup>2</sup>) para grupo A. Ver Asociación colombiana de ingeniería sísmica Normas colombianas de diseño y construcción sismorresistente. Tomo 4 título G Edificaciones de madera.

en la evaluación de las uniones con la propuesta de armado de tablillas que se ha planteado.

- Del análisis de los costos y los beneficios del desarrollo de una tecnología apropiada a la guadua se concluye que; el proceso de fabricación del material tiene un alto costo, que puede reducirse con innovación e investigación en tres aspectos, maquinaria, adhesivos, y optimización de procesos industriales.
- En el proceso de fabricación de la propuesta las uniones con elementos metálicos como pernos y platinas se pueden sustituir por uniones con adhesivos de empalmes de tipo estructural, con ventajas en el costo y en la resistencia del sistema estructural propuesto.
- El beneficio del desarrollo del material frente a otros materiales en la industria, incluso madera y bambú justifica el costo del procesamiento industrial del material.

## 7 FUENTES

- Eventos:
  - Construcción en Madera y Bambú (materia electiva): Visitas a obras, empresas e instituciones
  - Seminario Bamboo 2001 (Guayaquil, Ecuador): Conferencias, feria exposición.
  - Seminario El rol del bambú en la prevención de desastres (Guayaquil, Ecuador).
  - Feria expo construcción y expo diseño y feria expociencia expo tecnología 2001, (Bogotá, Colombia).
  - Simposio Usos y servicios del bambú guadua, expo guadua, (Armenia, Colombia): Conferencias, feria exposición.
  - Seminario – Taller Avances en investigaciones sobre guadua, (Pereira , Colombia): Conferencias, visitas a obras, empresas e instituciones.
- Sitios web bases de datos:
  - [www.inbar.org.cn](http://www.inbar.org.cn): sitio web de la red internacional del bambú y el ratán, proporciona textos completos específicos sobre bambú y ratán además de enlaces con instituciones, proveedores y eventos.
  - [www.americanbamboo.org](http://www.americanbamboo.org) sitio web de la sociedad americana del bambú, importante fuente bibliográfica y de enlaces.
  - [www.domegroup.com](http://www.domegroup.com): sitio web del grupo de fabricantes y estudiosos de sistemas geodésicos reticulados.
  - [www.ipirti.com](http://www.ipirti.com): sitio web del el instituto indio de investigación y entrenamiento de la industria del triplex (IPIRTI).

- Sitios web de empresas:

[www.linanwindow.com](http://www.linanwindow.com)  
[www.plyboo.com](http://www.plyboo.com)  
[www.wellmade.com](http://www.wellmade.com)  
[www.domes.com](http://www.domes.com)  
[www.bamboo-expo.com](http://www.bamboo-expo.com)  
[www.wr.com.au](http://www.wr.com.au)

- Personas:

Arq. Fernán Díaz  
Arq. Gonzalo Patiño  
Arq. Luis Guillermo Hernández  
Arq. Oscar Hidalgo  
Ing. José Gustavo Martínez  
Ing. Caori Takeuchi  
Ing. Gustavo Granados  
Ing. Anacilia Arbelaez  
Ing. Gonzalo Corredor  
Ing. Nelson Andrade  
Ing. Ximena Londoño

## 8 BIBLIOGRAFÍA

Biblioteca central Universidad Nacional de Colombia, Bogotá  
Biblioteca SINDU facultad de artes Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.  
Biblioteca facultad de ingeniería Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.  
Biblioteca Luis Ángel Arango Bogotá  
red internacional del bambú y el ratán  
biblioteca personal

### Revisión Bibliográfica

- American standard testing materials ASTM capitulo 04.10 wood D143 método de ensayo para especímenes de madera
- American standard testing materials ASTM capitulo 15.06 adhesives numeral D 905 corte paralelo por compresión.
- ARBELAEZ Arce, Anacilia. Evaluación de las investigaciones sobre el recurso guadua (guadua angustifolia kunth) realizadas en Colombia. Medellín, 2001. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Facultad de Ciencias agropecuarias
- ARIAS YOUNG, Álvaro. 2001 Economía y rentabilidad de los cultivos de guadua. Simposio sobre usos y servicios de la guadua. Armenia, Colombia
- Asociación colombiana de ingeniería sísmica Normas colombianas de diseño y construcción sismorresistente. Tomo 4 titulo G Edificaciones de madera. Capítulo G4 Diseño de elementos solicitados por fuerza axial G6
- Asociación colombiana de ingeniería sísmica Normas colombianas de diseño y construcción sismorresistente. Tomo 4 titulo G Edificaciones de madera. Capítulo G6 Uniones
- Asociación colombiana de ingeniería sísmica Normas colombianas de diseño y construcción sismorresistente. Tomo 4 titulo G Edificaciones de madera. Capítulo G 8. Cerchas livianas
- Biblioteca Atrium de la construcción Ed. océano. Barcelona Tomo 1

- BURNEO Calisto, Marcelo. La industria de molduras, pisos y laminados de caña guadua y bambú en el Ecuador. I Seminario Bamboo 2001
- CALIXTO RAMÍREZ, Julián Mauricio; QUIROZ, GARZÓN Daniel. La guadua como material en arquitectura. 2001 Trabajo de grado Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- CARRASCO RODRÍGUEZ, José Isaac; JUNCO LÓPEZ, Jairo Roberto y - QUIROGA PARRA, José Joaquín. Correas en celosía tridimensionales armadas en latas de Guadua de Castilla. Bogotá, 1982. 88p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.
- CARVAJAL CAMINOS, William Norberto; ORTEGON CRIOLLO, William Oswaldo y ROMERO ANTURY, Carlos Julio. Elementos estructurales en bambú. Bogotá, 1981. 91p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.
- CHING YUNG FLOORING CO. CHING YUNG MACHINE WORK bamboo & wood machinery Catalogo de máquinas 2000
- CHIQUIZA, Ariza William. Estructuras en guadua para medianas y grandes luces. 2000 Trabajo de grado. Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- CLAVIJO ORTIZ, Sandra Cecilia,, TRUJILLO, David, Evaluación de uniones a tracción en guadua. 2000 Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- DAGILIS, Trevor David Bamboo Composite Materials for Low-Cost Housing , Ph.D. Thesis, Department of civil, Engineering Queen's University, Kingston Canada 1999
- DELGADO, OSORIO Claudia Patricia, Paneles estructurales con laminas de guadua, 2000. Trabajo de grado (arquitectura). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Facultad de artes
- Enciclopedia de Ingeniería química Adherencia y adhesivos Capítulo 14 tomo 4 Madera.
- ENGEL Heinrich. Sistemas de estructuras.
- GALVIS , Sánchez Tiberio, Estudio teórico practico de las deformaciones en cerchas de madera dependiendo del tipo de uniones entre elementos 1994 Bogotá Trabajo de grado Ingeniería civil Universidad Nacional de Colombia . Bogotá.
- HIDALGO LÓPEZ, Oscar. 1975 Bambú, su cultivo y aplicación en la fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía 1975
- HIDALGO LÓPEZ, Oscar. I Seminario Bamboo 2001
- Holzbau Atlas Zwei. Institut für internatioanle Architectur Documentation. Munchen

- International Network for Bamboo and Rattan, Bamboo Panel Boards a State-of-the-Art Review 1999
- JUNAC- PADT REFORT. 1980. Lima. Perú. Manual de diseño para maderas del grupo andino.
- LONDOÑO P. Ximena; CAMARGO Gloria P.: RIAÑO Néstor M. ; LÓPEZ Yamel Caracterización anatómica del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth, Pereira 2002 Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua. Universidad Tecnológica de Pereira
- LONDOÑO PAVA, Ximena, Bambúes del nuevo mundo con énfasis en el género *Guadua*. III simposio nacional de Bambú – Guadua. 1988
- LONDOÑO PAVA, Ximena. 2001 La guadua un bambú importante de América. I Seminario Bamboo 2001 Guayaquil, Ecuador
- MAHECHA, Jorge; TAMASCO Leonardo. 1995, Diseño de herrajes para usar en uniones de madera con propósitos múltiples. Bogotá. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- MAKOWSKI, Z. S. Estructuras espaciales de acero.
- MITSUMASA Mori. Method for processing plane plate of bamboo material. 2000 Japanese Patent Office.
- MONTOYA, Jorge Augusto, Investigación Tecnológica en métodos de Preservación de la Guadua Angustifolia, Pereira 2002 Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua. Universidad Tecnológica de Pereira .
- MORENO José Ignacio Trabajo de grado en curso Carrera de construcción. Universidad Santo Tomas. Bogotá 2002.
- NSR 98 Código colombiano de constricciones sismo resistentes
- OBREGÓN Caridad; KURI Phres, José Anuar. COHEN, Bissu Elías. 1986. Manual de sistemas de unión y ensamble de materiales. México Ed. Trillas 239 p.
- OVALLE, Lizardo; VEGA, Mora, Jaime. Uniones con pegante para madera. 1993. Universidad Nacional de Colombia . Bogotá Trabajo de grado Ingeniería civil Facultad de Ingeniería.
- ROSERO FERBES CORDERO, Lilliana Andrea. Estructuras laminares con maderas tropicales. 1998. Trabajo de grado Arquitectura Universidad Nacional de Colombia Bogotá,
- SABOGAL Aureliano ,GIRALDO Edgar. 1999 Una alternativa sostenible: la Guadua. Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ.
- SALVADORI, Mario, Diseño estructural en arquitectura.

- STAMM Jörg, Laminados de guadua Pereira 2002 Universidad tecnológica de Pereira G.T.Z. Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua. Universidad Tecnológica de Pereira.
- VELÁSQUEZ ECHEVERRI, Luis Fernando. 2001 Montaje de una planta procesadora de guadua para pisos, páneles y molduras. Fundación para el desarrollo del Quindío. Simposio sobre usos y servicios de la guadua. Armenia, Colombia
- Zoolagud,S.S.;Rangaraju,T.S.1993.Bamboo mat board manufacture. Proceedings of National Workshop on BambooMat Board,Bangalore,India,12 febrero 1993. Indian Plywood Industries Research and Training Institute, Bangalore, India.

## 9 ANEXOS

Anexo 1 Tabla de características químicas de tablillas de guadua angustifolia kunt tomado de Hidalgo López Oscar

Muestra	Ceniza %	Sílice %	Lignina %	Total carbohidrato
Zona externa	4.33	3.18	27.06	68.88
Zona interna	3.52	1.54	24.06	67.27
Porcion del nudo	6.77	4.66	24.12	66.23

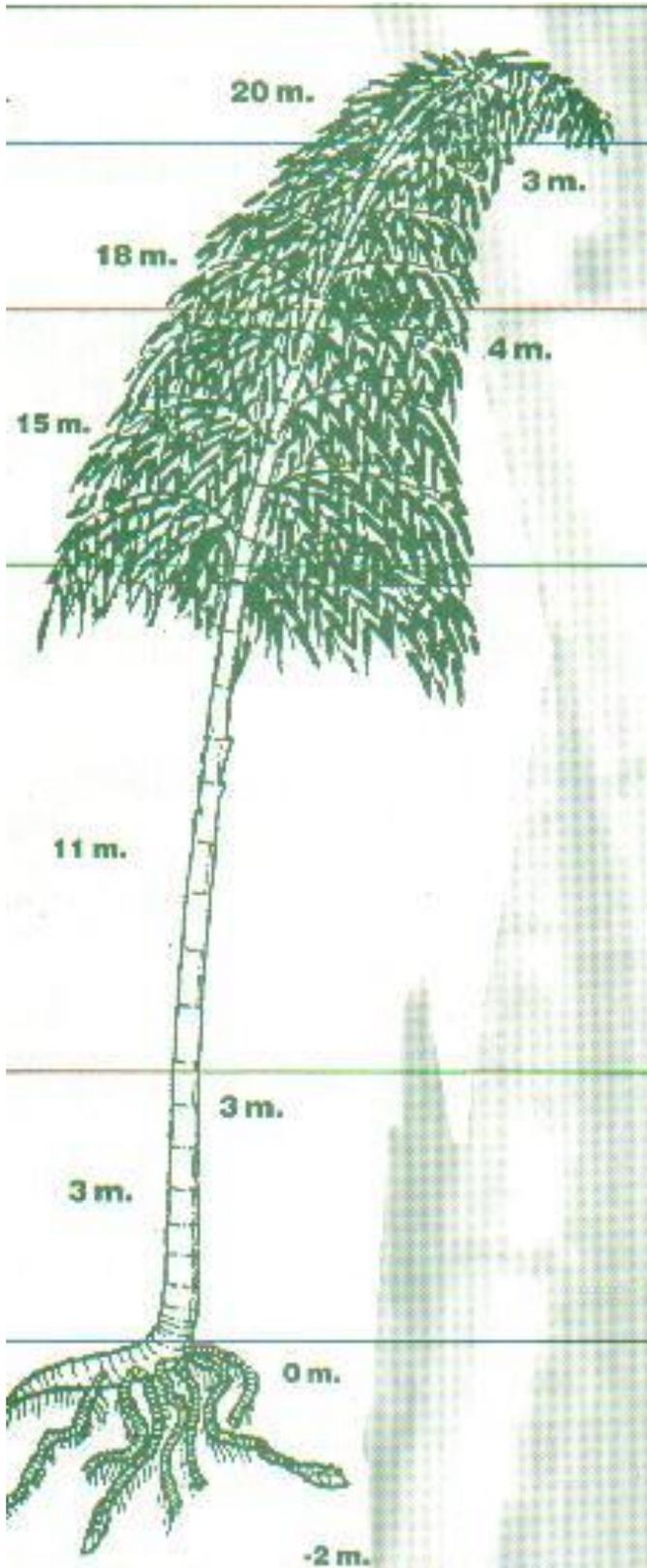
Anexo 2 Tabla de características físicas de tablillas de guadua angustifolia kunt

Parametro estudiado	Resultado	Fuente
Humedad relativa	entre 10,7% y 19,2%	CARVAJAL CAMINOS, William Norberto; ORTEGON CRIOLLO, William Oswaldo y ROMERO ANTURY, Carlos Julio.
	18,2% promedio	BOTERO LARRARTE, Pablo C.
Peso especifico	entre 0.26 y 1.86 gr/cm <sup>3</sup>	CARVAJAL CAMINOS, William Norberto; ORTEGON CRIOLLO, William Oswaldo y ROMERO ANTURY, Carlos Julio.
	entre 0.84 gr/cm <sup>3</sup> y 0,88 gr/cm <sup>3</sup>	BOTERO LARRARTE, Pablo C.

Anexo 3 Tabla de características mecánicas de tablillas de guadua angustifolia kunt

Parametro estudiado	Resultados en Kg / cm <sup>a</sup>	Fuente
<b>Resistencia a la tracción</b>	entre <b>548 y 1045</b> con nudo y entre <b>1020 y 1560</b> sin nudo	DIAZ SASIAIN, Daniel; FACCINI FREYMOND, Antonio y ROJAS PEÑA, Jairo René.
	entre <b>970 y 1659</b> en probetas con nudo y entre <b>943 y 1429</b> en probeta sin nudo	MERINO SÁNCHEZ, Fernando; RODRÍGUEZ BERMÚDEZ, Gustavo y VALLEJO JARAMILLO, Antonio
	entre <b>1017 y 3213</b> con promedio de <b>1919</b>	HIDALGO LÓPEZ, Oscar
	entre <b>420 y 2867</b>	CARVAJAL CAMINOS, William Norberto; ORTEGON CRIOLLO, William Oswaldo y ROMERO ANTURY, Carlos Julio
	<b>1668</b> en tablillas sin nudo <b>1294</b> en cintas	BOTERO LARRARTE, Pablo C
	<b>545</b> promedio	SILVA V, Mario Felipe Y LÓPEZ M, Luis Felipe
<b>Modulo de elasticidad a tracción</b>	entre <b>107000 y 173000</b>	DIAZ SASIAIN, Daniel; FACCINI FREYMOND, Antonio y ROJAS PEÑA, Jairo René.
	entre <b>135000 y 277000</b> con promedio de 215000	HIDALGO LÓPEZ, Oscar
	entre <b>69250</b> en probeta con nudo y pared completa y <b>126630</b> en probeta sin nudo y pared completa	CARVAJAL CAMINOS, William Norberto; ORTEGON CRIOLLO, William Oswaldo y ROMERO ANTURY, Carlos Julio
<b>Resistencia a compresión paralela</b>	entre <b>483 y 660</b> en probetas con nudo y entre 571 y 689 en probetas sin nudo	MERINO SÁNCHEZ, Fernando; RODRÍGUEZ BERMÚDEZ, Gustavo y VALLEJO JARAMILLO, Antonio
	entre <b>372 y 493</b>	CARVAJAL CAMINOS, William Norberto; ORTEGON CRIOLLO, William Oswaldo y ROMERO ANTURY, Carlos Julio
	máximo <b>450</b>	BOTERO LARRARTE, Pablo C
<b>Resistencia a compresión perpendicular</b>	máximo <b>2,26</b>	BOTERO LARRARTE, Pablo C
<b>Módulo de elasticidad a compresion</b>	entre <b>261,62</b> en probeta con nudo y pared completa y <b>503,13</b> en probeta sin nudo y pared externa	CARVAJAL CAMINOS, William Norberto; ORTEGON CRIOLLO, William Oswaldo y ROMERO ANTURY, Carlos Julio
<b>Resistencia al corte paralelo</b>	entre <b>45 y 144</b> con promedio de <b>93</b>	HIDALGO LÓPEZ, Oscar
	entre <b>73 y 139</b>	CARVAJAL CAMINOS, William Norberto; ORTEGON CRIOLLO, William Oswaldo y ROMERO ANTURY, Carlos Julio

Anexo 4 Partes de la guadua, tomado de SABOGAL Aureliano ,GIRALDO Edgar



COPA

VARILLON

SOBREBASA

BASA

CEPA

RIZOMA

Anexo 5 Ficha técnica polímero 216 FEL

**ESPECIFICACIONES TECNICAS  
DESPACHOS  
LABORATORIO QUIMICO**



**Casco Products  
Adhesives  
Interquim**

PRODUCTO:	POLIMERO 216 FE-L	CÓDIGO ES 0003	REVISION 05	PÁGINA 10
-----------	-------------------	-------------------	----------------	-----------

PARAMETRO	VALOR	METODO DE ANALISIS INTERQUIM
ASPECTO	Líquido viscoso	MA - 006
COLOR	Blanco	MA - 006
OLOR	A Formaldehído	MA - 006
SOLIDOS (% peso, 105 °C, 4 h)	64.0 - 66.0	MA - 058
GRAVEDAD ESPECIFICA (25/20 °C)	1.270 - 1.280	MA - 132
VISCOSIDAD (cps, 25 °C)	200 - 600	MA - 434
pH (25 °C)	8.0 - 8.6	MA - 311
FORMOL LIBRE (% peso)	0.6 máximo	MA - 054
SOLUBILIDAD EN AGUA (35 resina/50 agua, 25°C)	Homogénea	MA - 399
TIEMPO DE CURADO (seg, 1% CAT 100, 96°C)	50 - 80	MA - 396

Fecha	Actualización	Razón del cambio
99-09-24	2000-06-16	Cambio de Formato

## POLIMERO 216 FE L

### Generalidades

El polímero 216 FE L es una resina líquida viscosa producida por condensación de la úrea con Formaldehído, de aspecto blanco y opaco.

El polímero 216 FE L es una resina en estado intermedio de polimerización con muy bajo contenido de Formol Libre. El curado ó completa polimerización del polímero 216 FE L se logra por la acción de un catalizador y/o la acción del calor, lográndose un polímero rígido, cristalino y termoestable.

El polímero 216 FE L se caracteriza por su rápido curado, alta resistencia química y mecánica, gran dureza y alto poder de adhesión.

### Despacho

El polímero 216 FE L se despacha en garrafa plástica de 55 galones o granel.

### Almacenamiento

Para prevenir daño en el producto, se debe almacenar bajo techo y a temperaturas inferiores a 25°C.

**INTERQUIMS.A.**  
NIT. 860.035.047-7

Calle 10 Sur No. 50FF -28 Of. 402  
Apartado 6588  
Medellin - Colombia

Tel. (574) 361 8888  
Fax (574) 361 9999  
e-mail: interquim@epm.net.co



**PIN LTDA.** PEGANTES INDUSTRIALES  
La tecnología en sus manos

**DIVISIÓN ADHESIVOS  
INFORMACIÓN TÉCNICA**

**PC 3000**

#### USOS

El **PC 3000** ofrece uniones estructurales y fuertes en:

#### INDUSTRIAS

- CALZADO
- MARROQUINERÍA
- TAPICERÍA
- CARPINTERÍA

#### MATERIALES

- CUEROS
  - SECOS
  - SEMIGRASOS
- CRUPONES
- CAUCHOS
  - VULCANIZADO
  - EXPANDIDO
- NEOLITE
- VIRAS EXTRUIDAS
  - CAUCHO
  - NEOLITE
- EVA O MICROPOROSA
- CANGUROIDES O BACK OUT DE PLÁSTICOS Y SINTÉTICOS
- FÓRMICA
- AGLOMERADOS

#### PROCESOS

- ZAPATERÍA
  - MONTAJE
  - ENSUELADO
  - ENVIRADO
- CARPINTERÍA
  - ENCHAPE
  - TERMOCONFORMADO

#### CARACTERÍSTICAS

El **PC 3000** es un adhesivo de contacto de Policloropreno con alto contenido de sólidos ideal para pegues estructurales y seguros, en materiales de difícil adherencia.

#### MODO DE EMPLEO

Puede ser aplicado con cepillo, brocha, rodillo, espátula o encoladora.

Las superficies a unir se deben lijar, cardar o esmerilar para crear porosidad; una vez terminada esta operación, se deben limpiar hasta dejarlas libres de polvo, residuos o grasa.

Para materiales poco porosos, se recomienda aplicar una mano de adhesivo sobre las partes a pegar dejando secar entre 15 y 60 minutos, luego, unir haciendo presión a las partes (40 - 60 psi). En materiales muy porosos, se recomienda la aplicación de una segunda mano 10 minutos después de haber aplicado la primera.

#### ESPECIFICACIONES

BASE	Policloropreno
OLOR	Característico de solventes
COLOR	Amarillo / Negro
VISCOSIDAD BROOKFIELD a 20 °C Aguja 2, Velocidad 10 rpm.	2500 ± 200 cps
CONTENIDO DE SÓLIDOS	20 ± 1%
FUERZA INICIAL N/cm Lona - Lona, 15/30 minutos de secado Tensiómetro COMTEN, Vel. 50 mm/min.	10,5 - 17
FUERZA FINAL N/cm Lona - Lona, 72 horas de pegado Tensiómetro COMTEN, Vel. 50 mm/min.	No inferior a 45
RESISTENCIA AL CALOR	70 °C
TIEMPO DE SECADO	Máximo 60 minutos
SISTEMA DE SOLVENTES	Aromáticos y Alifáticos

#### RECOMENDACIONES GENERALES

- Agite el adhesivo antes de usarlo.
- Su almacenamiento y aplicación se deben hacer en lugares frescos, ventilados y retirados de fuentes de calor como calderas, calentadores y equipos que produzcan chispa.
- Evite la inhalación continua de los vapores del solvente y el contacto prolongado con la piel.
- Evite la alta evaporación de los solventes utilizando, para el manejo del adhesivo, recipientes de boca angosta.
- Para óptimos pegues, siga las instrucciones del proceso y respete los tiempos, temperaturas y presiones indicadas.
- Consulte a nuestro Departamento Técnico.

PLANTA: Avenida 13 No. 6-31 Funza (Cundinamarca) Telefax: (091) 8258263  
OFICINAS: Diagonal (Calle) 53 No. 39-33 Telefax: 221 13 67 - 221 99 91 - 222 78 03  
e-mail: pinprime@polcola.com.co • Bogotá, D.C. - Colombia



# VULCANIZANTES

## OBSERVACIONES

1. Los Vulcanizantes son altamente reactivos con la humedad, por eso *deben permanecer herméticamente tapados.*

2. La exposición al aire produce coloración verde - violeta, lo cual, no es necesariamente indicio de desactivación o de contaminación.

3. El Vulcanizante disminuye el tiempo abierto de los pegantes, de tal forma que el pegante se debe dejar secar un menor tiempo con respecto al pegante que no tiene Vulcanizante.

4. El Vulcanizante disminuye el tiempo de vida útil de los pegantes, de tal forma que el adhesivo con Vulcanizante debe ser utilizado en corto tiempo.

5. El Vulcanizante eleva la resistencia a la temperatura de los adhesivos, lo cual hace que la temperatura de reactivación de los pegantes con Vulcanizantes sean mayores

6. El Adhesivo con Vulcanizante se debe reactivar máximo a las 4 horas de su aplicación.

## CARACTERÍSTICAS

Los Vulcanizantes son sustancias químicas formuladas para ser adicionadas a los Adhesivos con el objeto de conseguir o mejorar en ellos algunas propiedades.

Los Vulcanizantes se adicionan generalmente en porcentajes del 1.0% al 2.5%.

## USOS

1. *Agilizar el Secado de los Adhesivos:* Los pegues se pueden hacer más rápido.
2. *Mejorar la Resistencia de los Pegantes a los Agentes de Ataque:* Bien sea a los que atacan al pegue ya realizado (altas temperaturas, agentes químicos, agua, aceites, grasas, tensiones mecánicas, etc), o a los que atacan durante el proceso de pegue (grasas, calor, plastificantes, desmoldantes, etc).
3. *Mejoramiento de la Adherencia:* En algunos materiales de difícil unión (materiales poco polares o inertes), al adicionar Vulcanizante al **IMPRIMANTE** y/o al pegante se mejora la característica de adherencia o de afinidad de estos por el material.
4. *Utilización en IMPRIMANTES:* El Vulcanizante es necesario en el proceso de pegue de Cueros Grasos, en el cual se adiciona en porcentajes del 2.0% al 4.0% al **IMPRIMANTE GRASO** que se debe aplicar al cuero, antes del pegante, para bloquear la acción de la grasa. En los demás imprimantes se usa en porcentajes del 1% al 3% para obtener las propiedades ya indicadas.

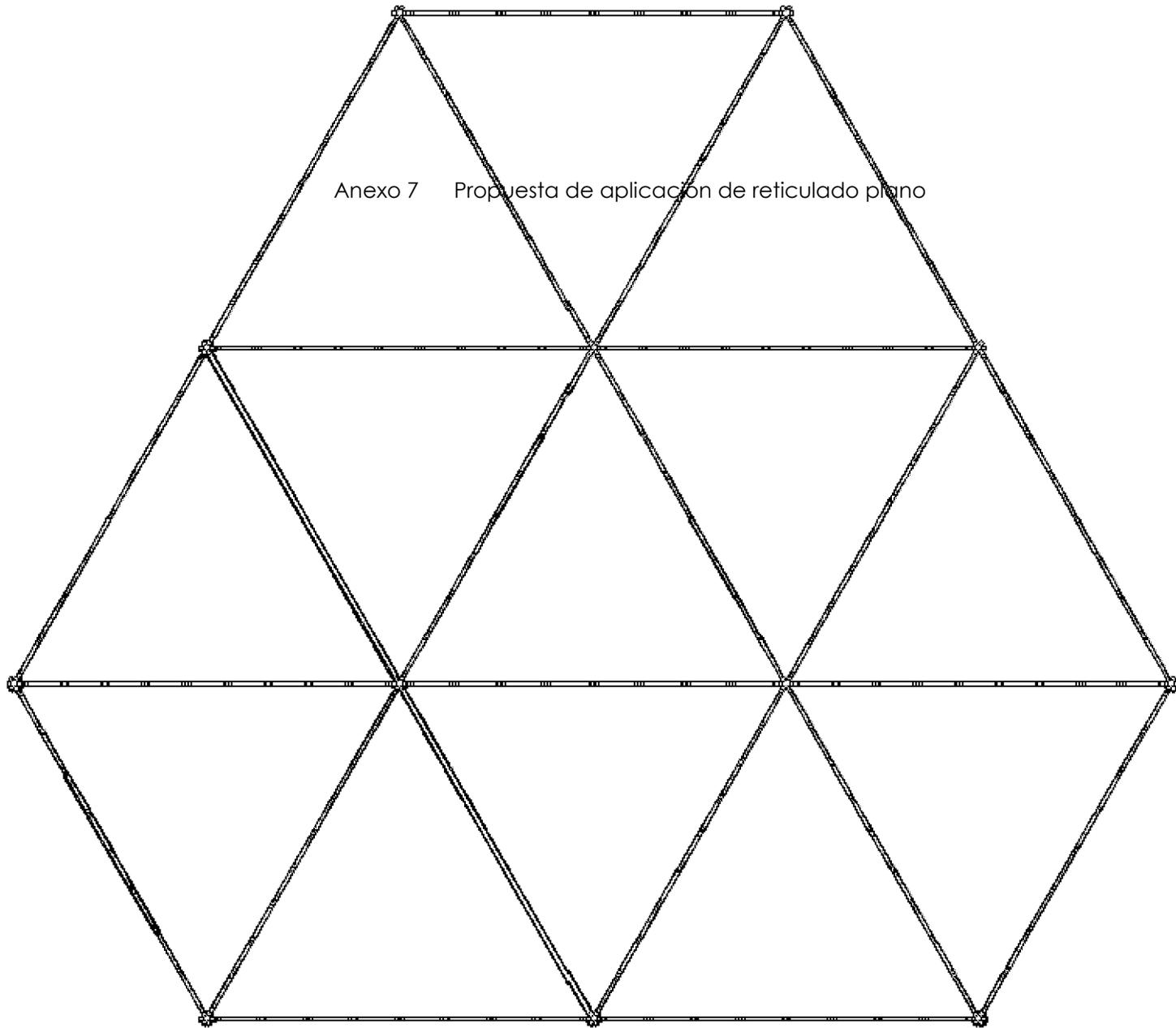
## ESPECIFICACIONES

	AGENTE ACTIVO	% SOLIDOS	% DE APLICACIÓN ESTANDAR	SOLVENTE	ESTABILIDAD almacenaje / uso
<b>PV - 0</b>	Acido fosfórico que involucra Poli-isocianato	18 - 20	1 - 3	Acetato de Etilo	3 meses / 1 mes
<b>PV - 1</b>	Acido fosfórico que involucra Poli-isocianato	9 - 10	1 - 3	Acetato de Etilo	3 meses / 15 días
<b>PV - 2</b>	Poli-isocianato	24 - 27	0.5 - 1.5	Acetato de Etilo	6 meses / 1 mes
<b>PV - 3</b>	Acido fosfórico que involucra Poli-isocianato	9 - 10	2 - 4	Acetato de Etilo	1 mes / 15 días
<b>PV - 4</b>	Acido fosfórico que involucra Poli-isocianato	4 - 5	2 - 4	Acetato de Etilo	1 mes / 15 días
<b>PV - 5</b>	Poli-isocianato	12 - 13.5	1 - 2	Acetato de Etilo	1 mes / 15 días

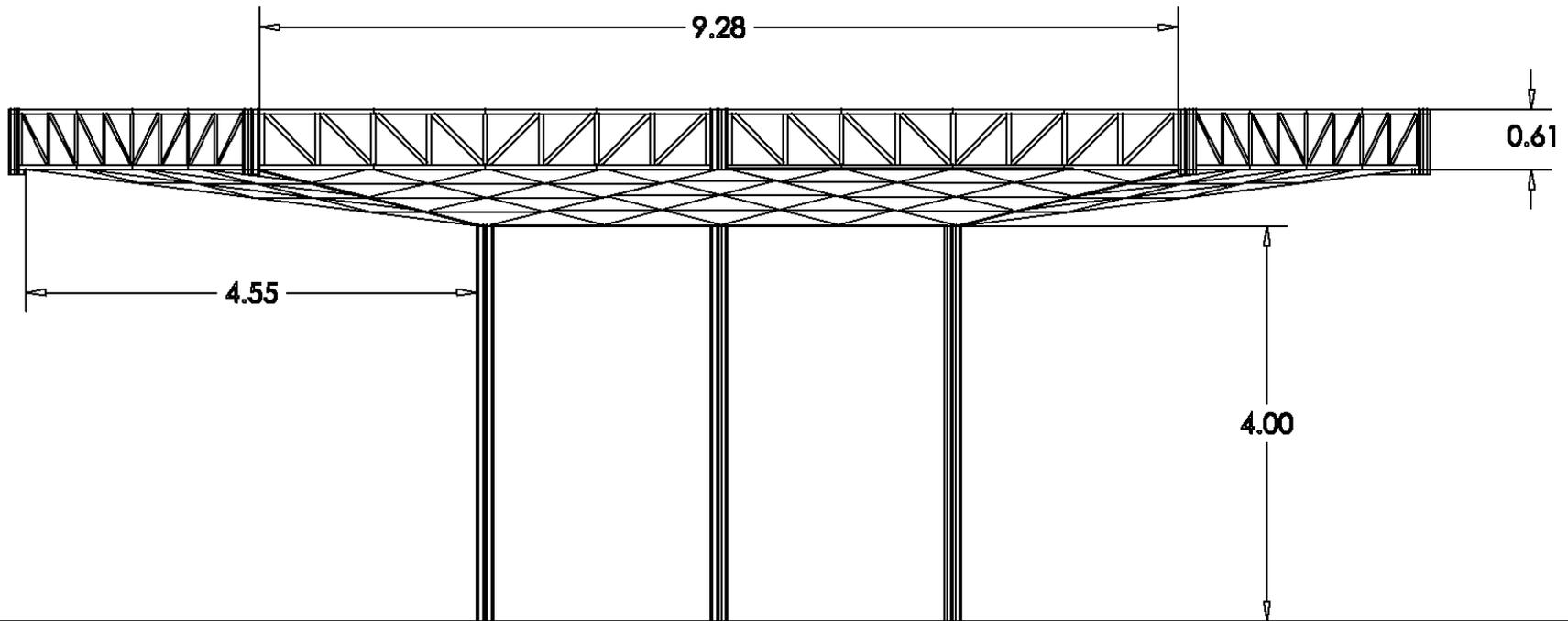
• Consulte a nuestro Departamento Técnico

PLANTA: Avenida 13 No. 6-31 Funza (Cundinamarca) Telefax: (091) 8258263  
OFICINAS: Diagonal (Calle) 53 No. 39-33 Telefax: 221 13 67 - 221 99 91 - 222 78 03  
e-mail: pinprime@polcola.com.co • Bogotá, D.C. - Colombia

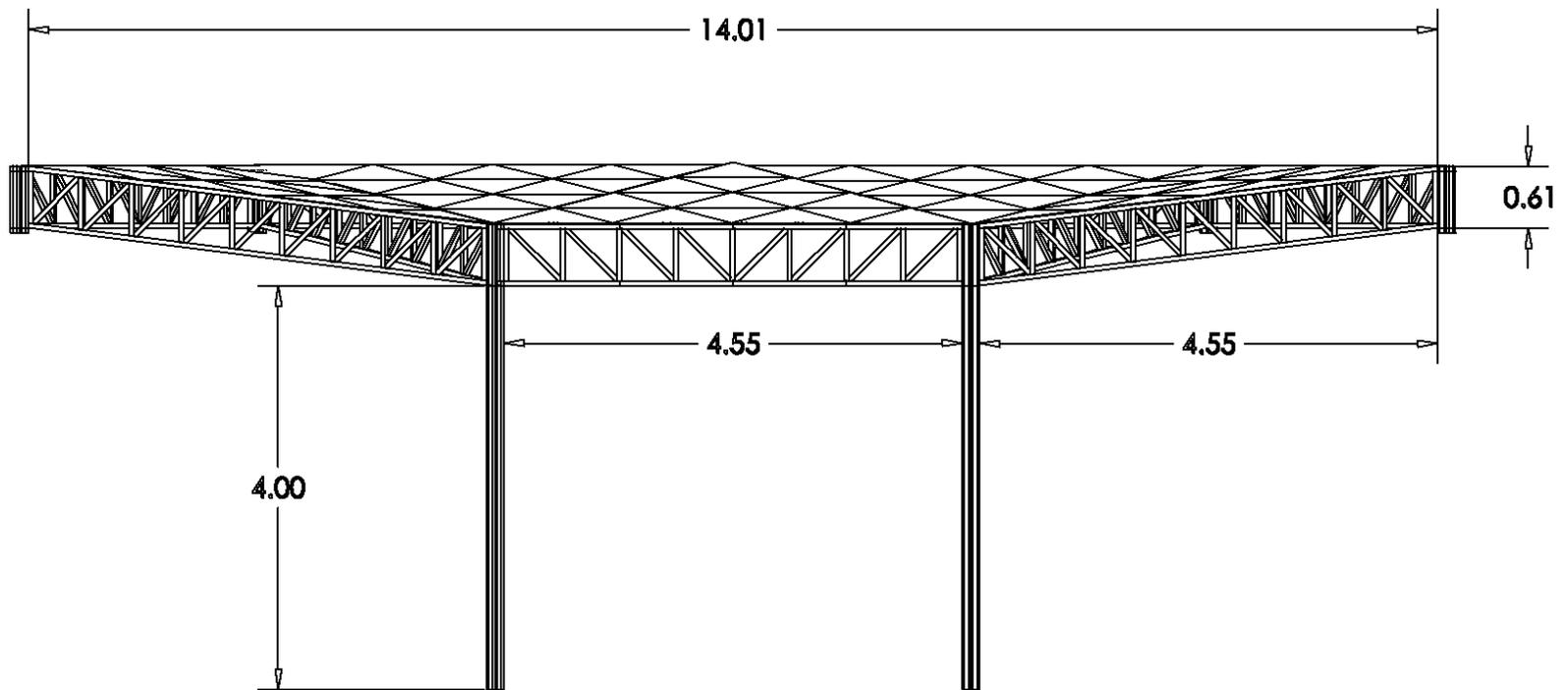
Anexo 7 Propuesta de aplicación de reticulado plano



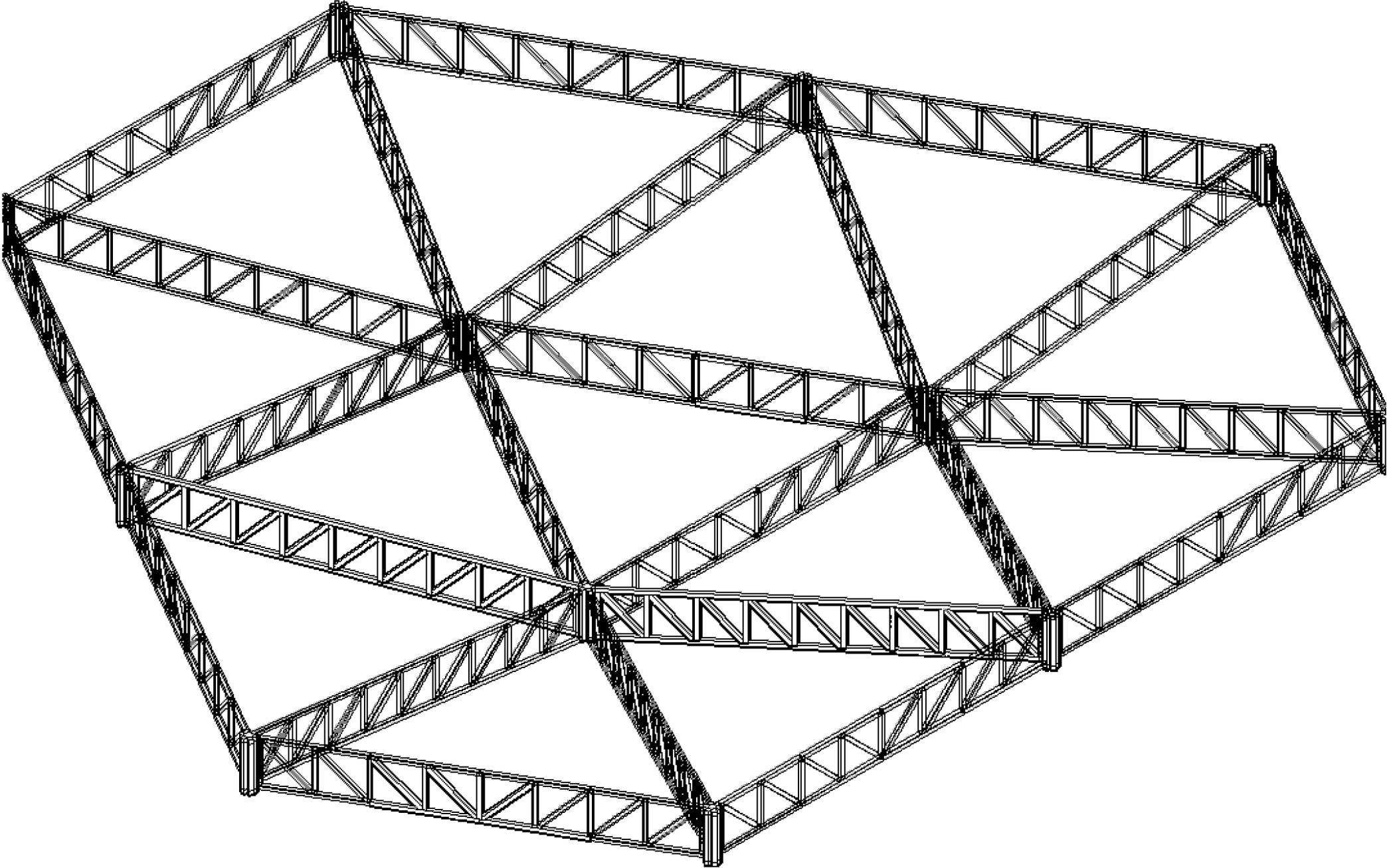
Contiene	PLANTA CUBIERTA	Escala	1:75	Fecha	19-02-03	Plano	A1
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



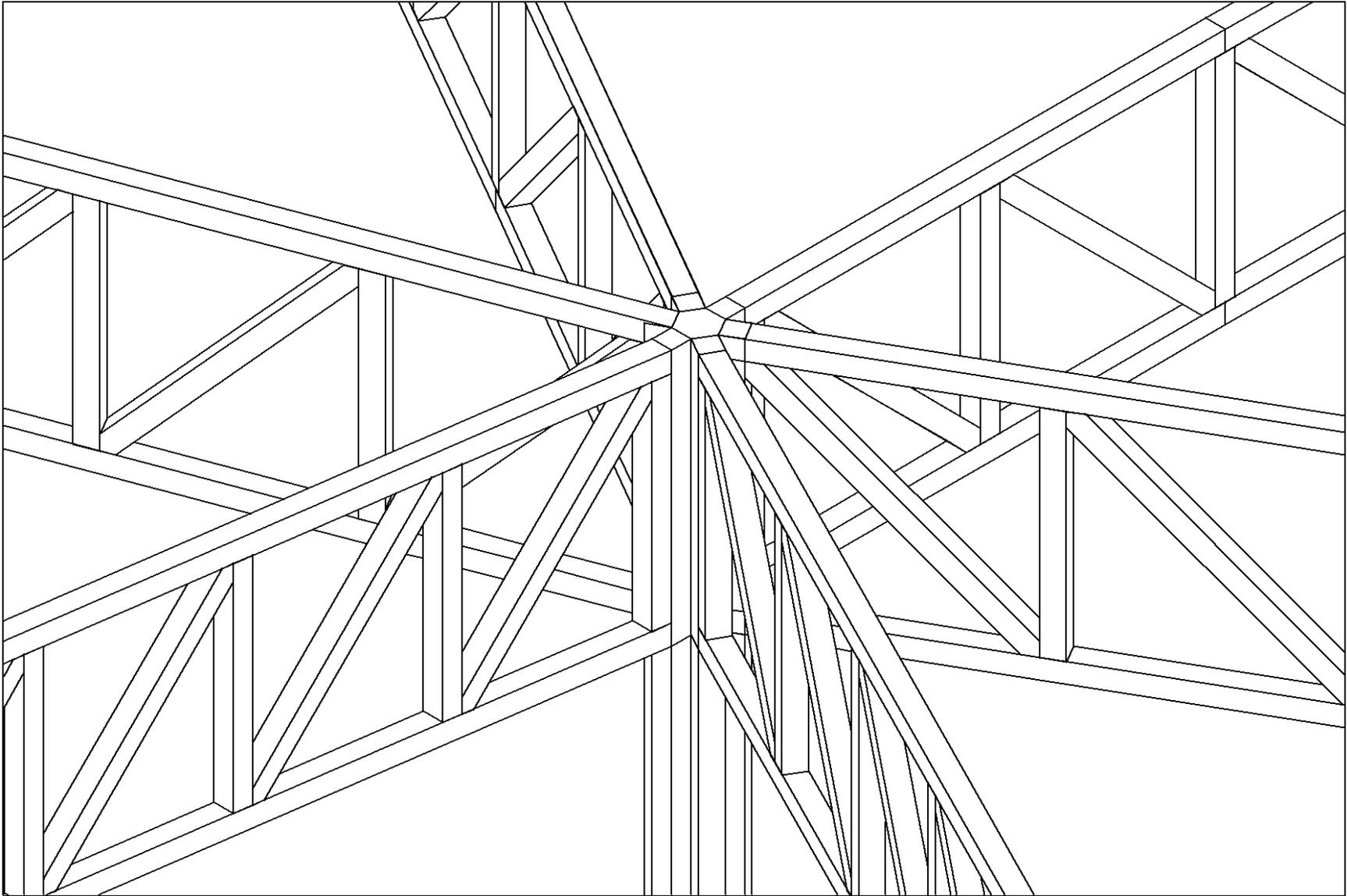
Contiene	Alzado propuesta	Escala	1:75	Fecha	19-02-03	Plano	A2
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



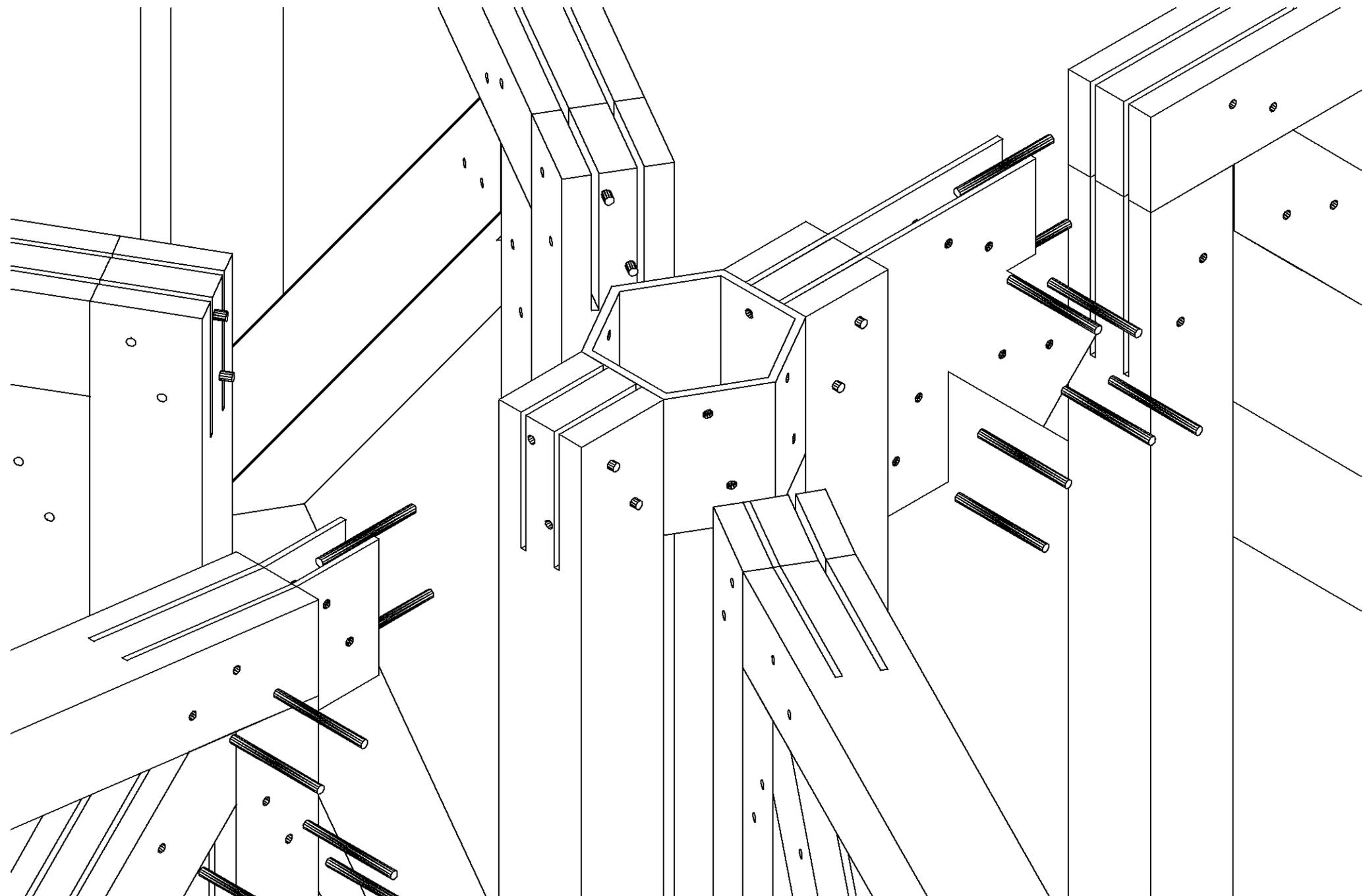
Contiene	Corte propuesta	Escala	1:75	Fecha	19-02-03	Plano	A3
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



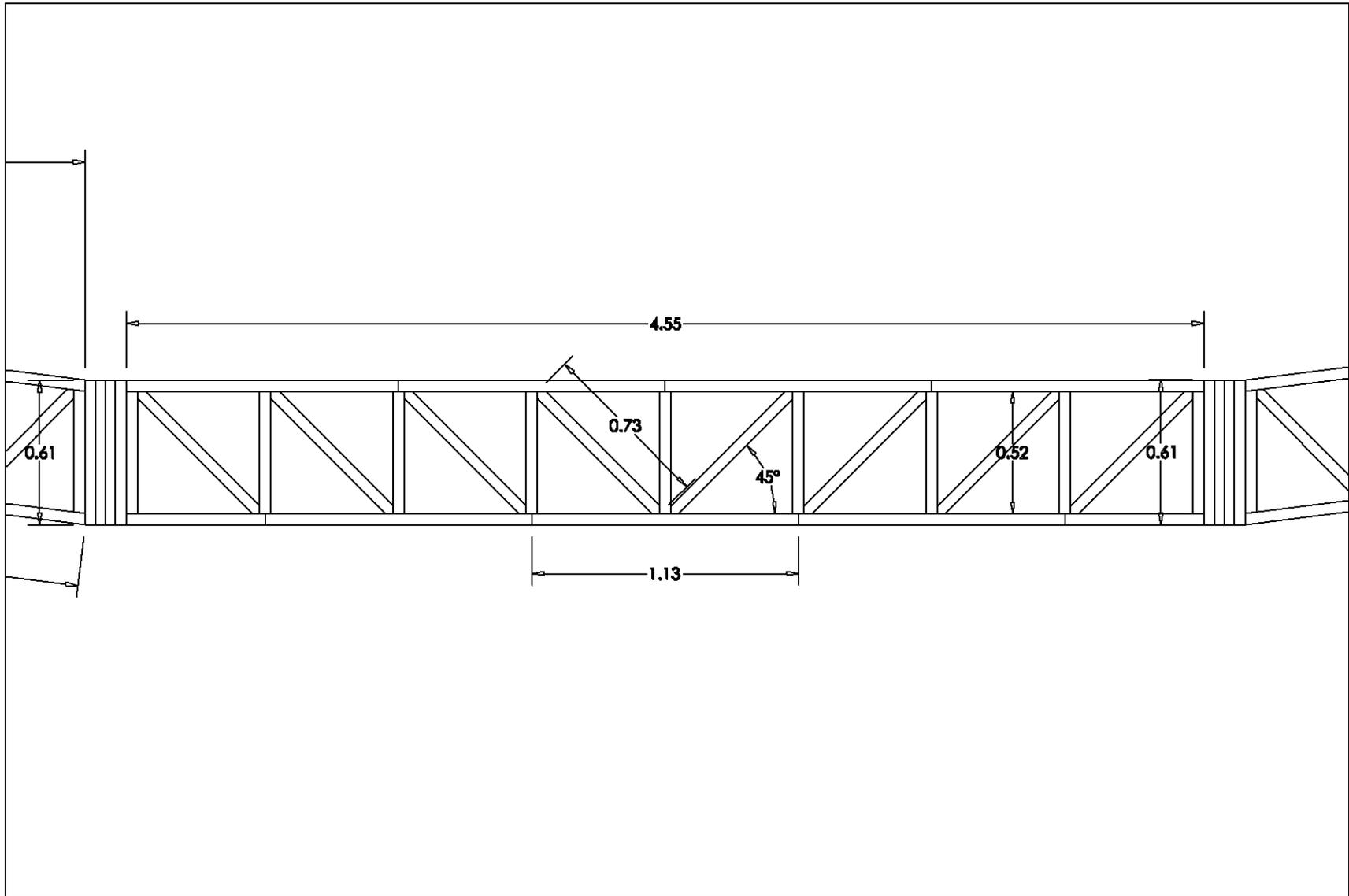
Contiene	AXONOMETRIA	Escala	1:50	Fecha	19-02-03	Plano	A0
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



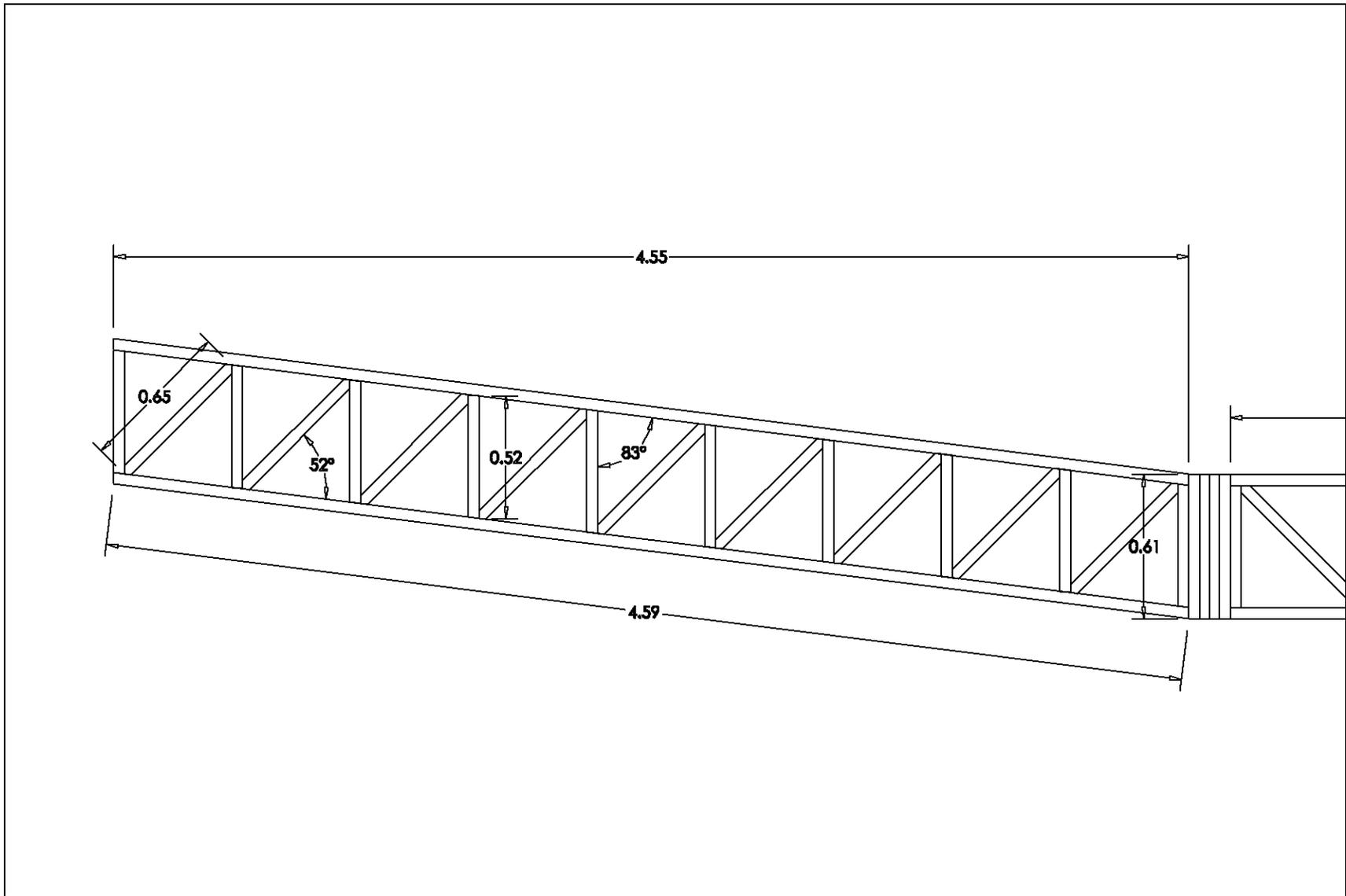
Contiene	Apoyo cercha AXON.	Escala	1:10	Fecha	19-02-03	Plano	P1
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



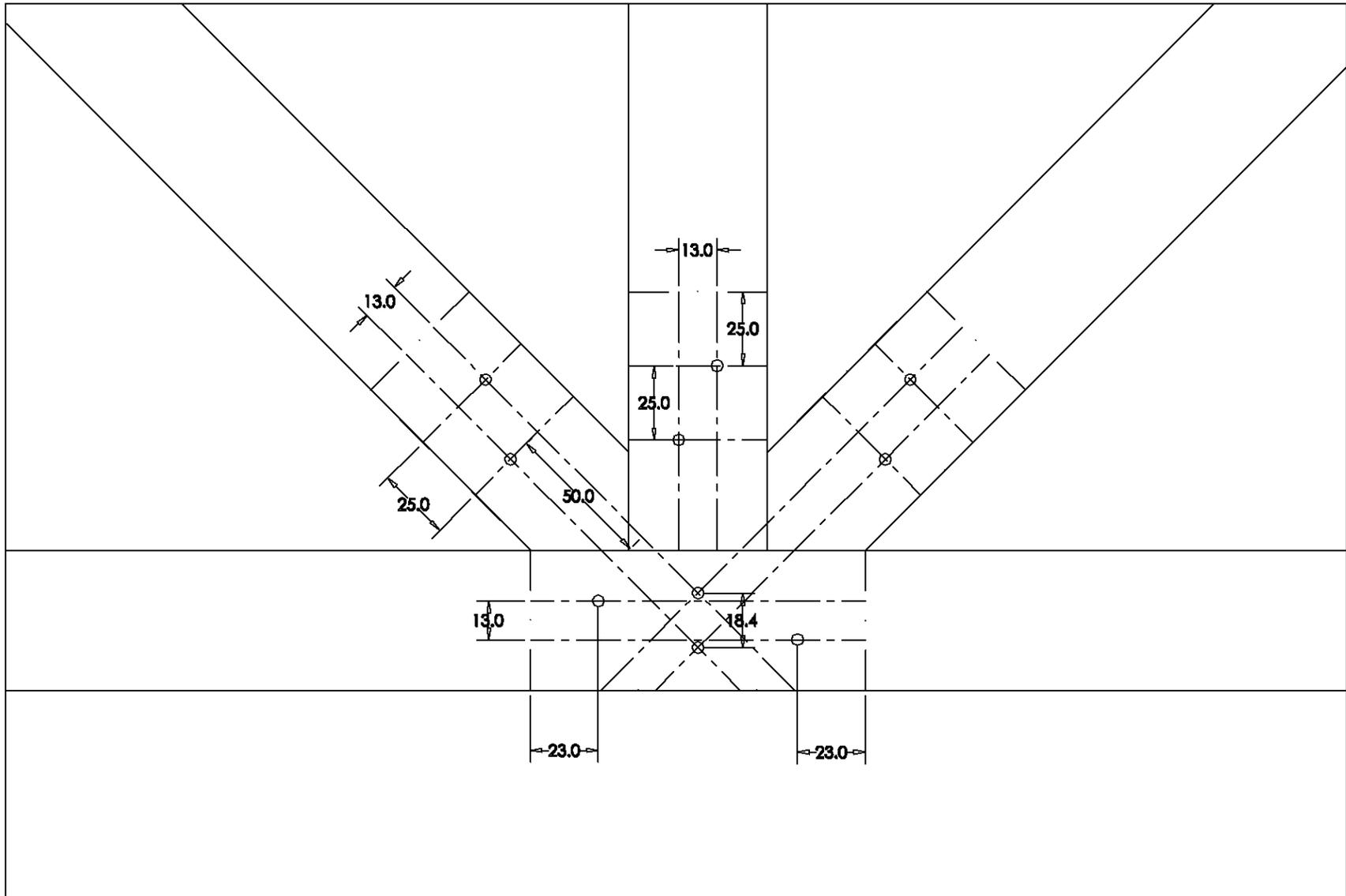
Contiene	Apoyo cercha Despiece.	Escala	1:2	Fecha	19-02-03	Plano	P3
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



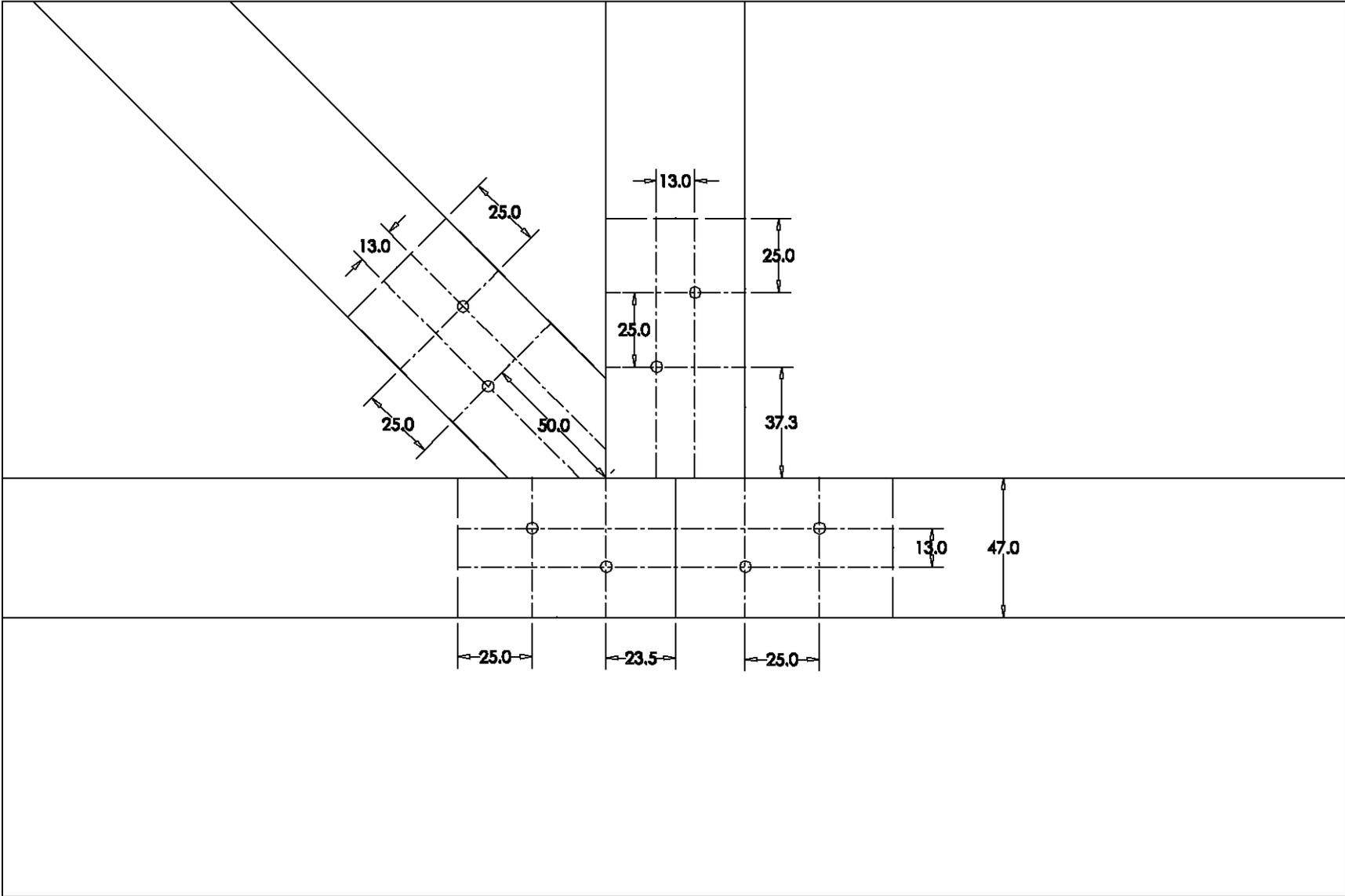
Contiene	Cercha tramo	Escala	1:25	Fecha	19-02-03	Plano	P4
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



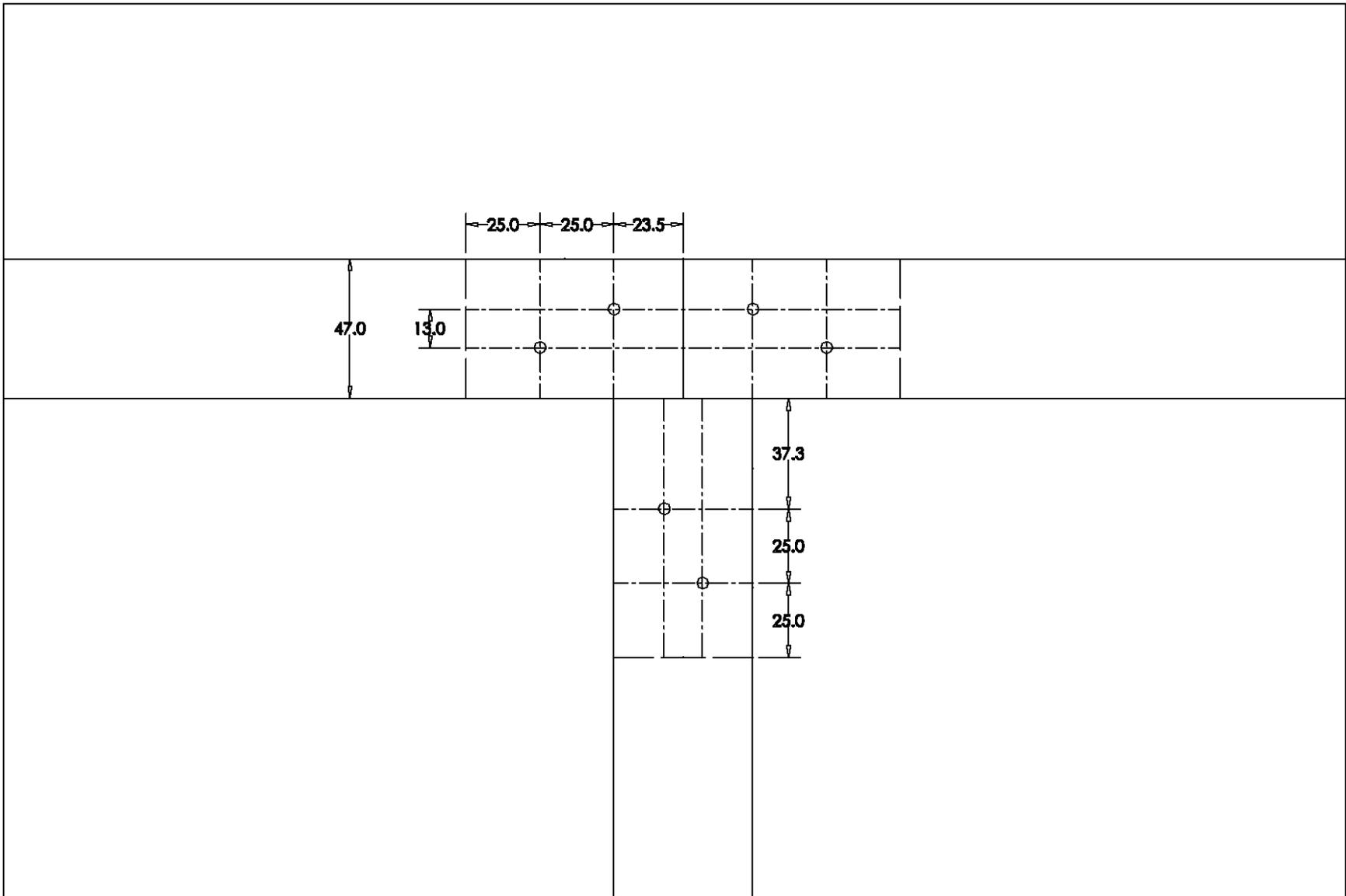
Contiene	Cercha voladizo	Escala	1:25	Fecha	19-02-03	Plano	P5
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



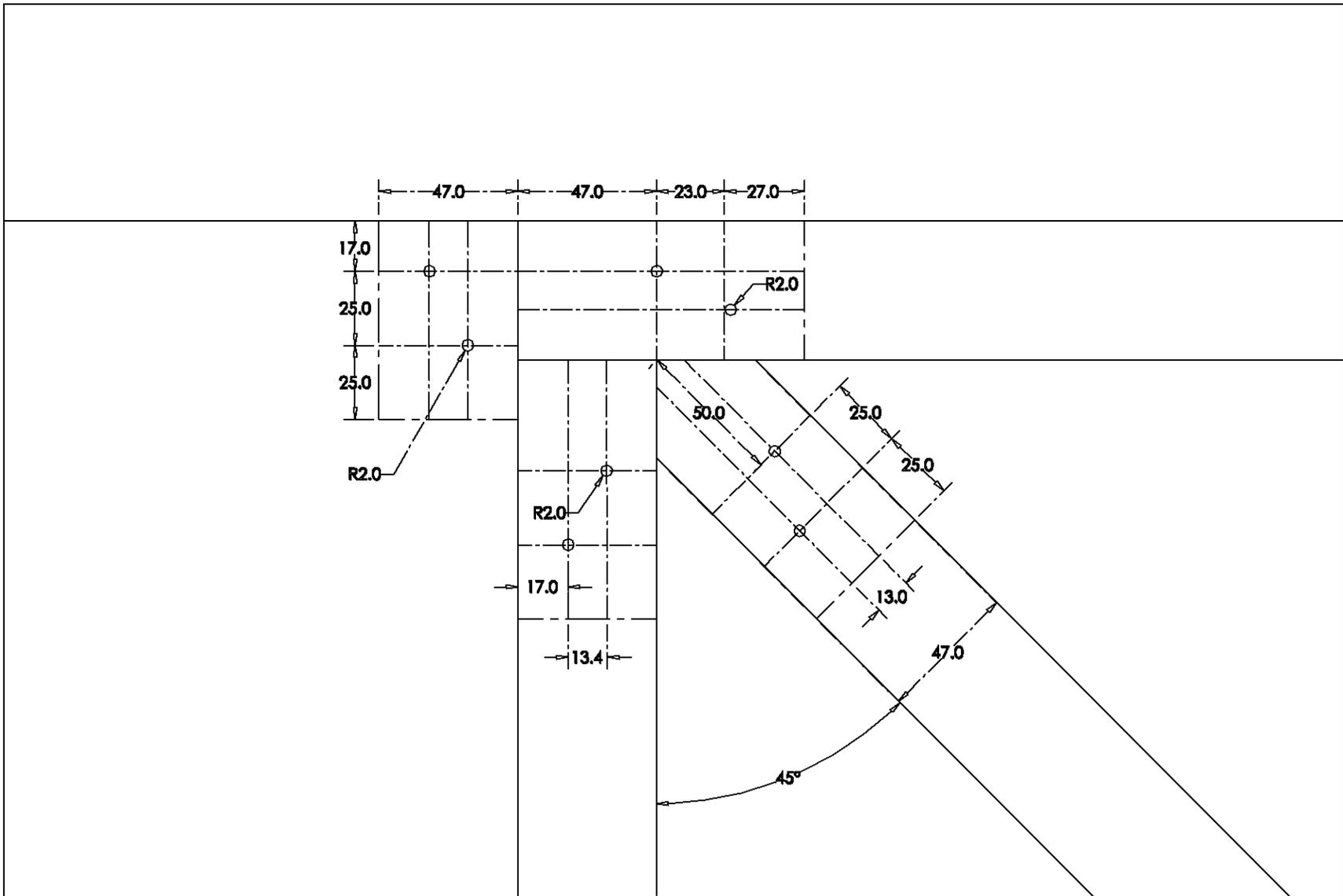
Contiene	Unión tipo A	Escala	1:2	Fecha	19-02-03	Plano	UA
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



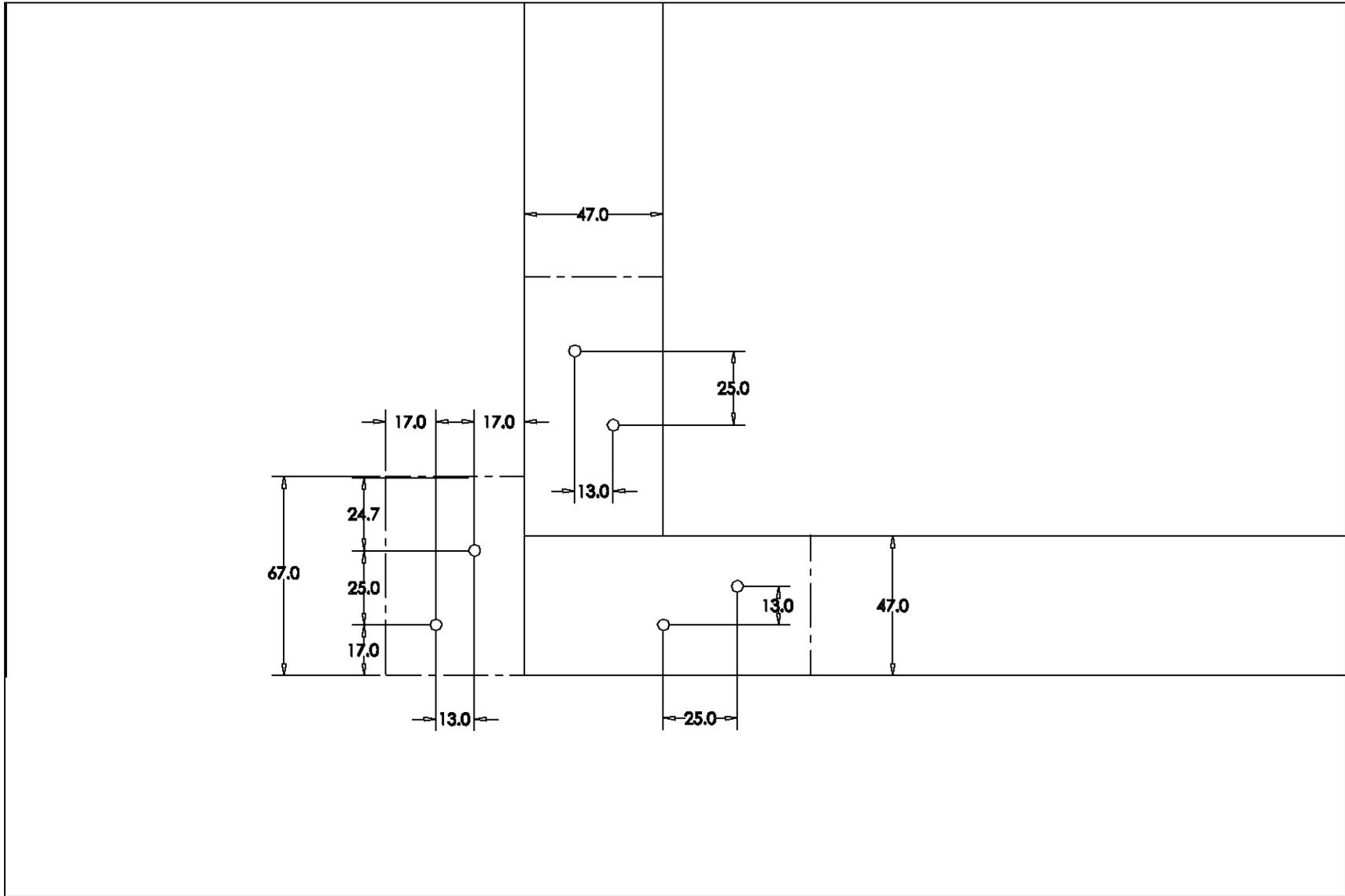
Contiene	Unión tipo B	Escala	1:2	Fecha	19-02-03	Plano	UB
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



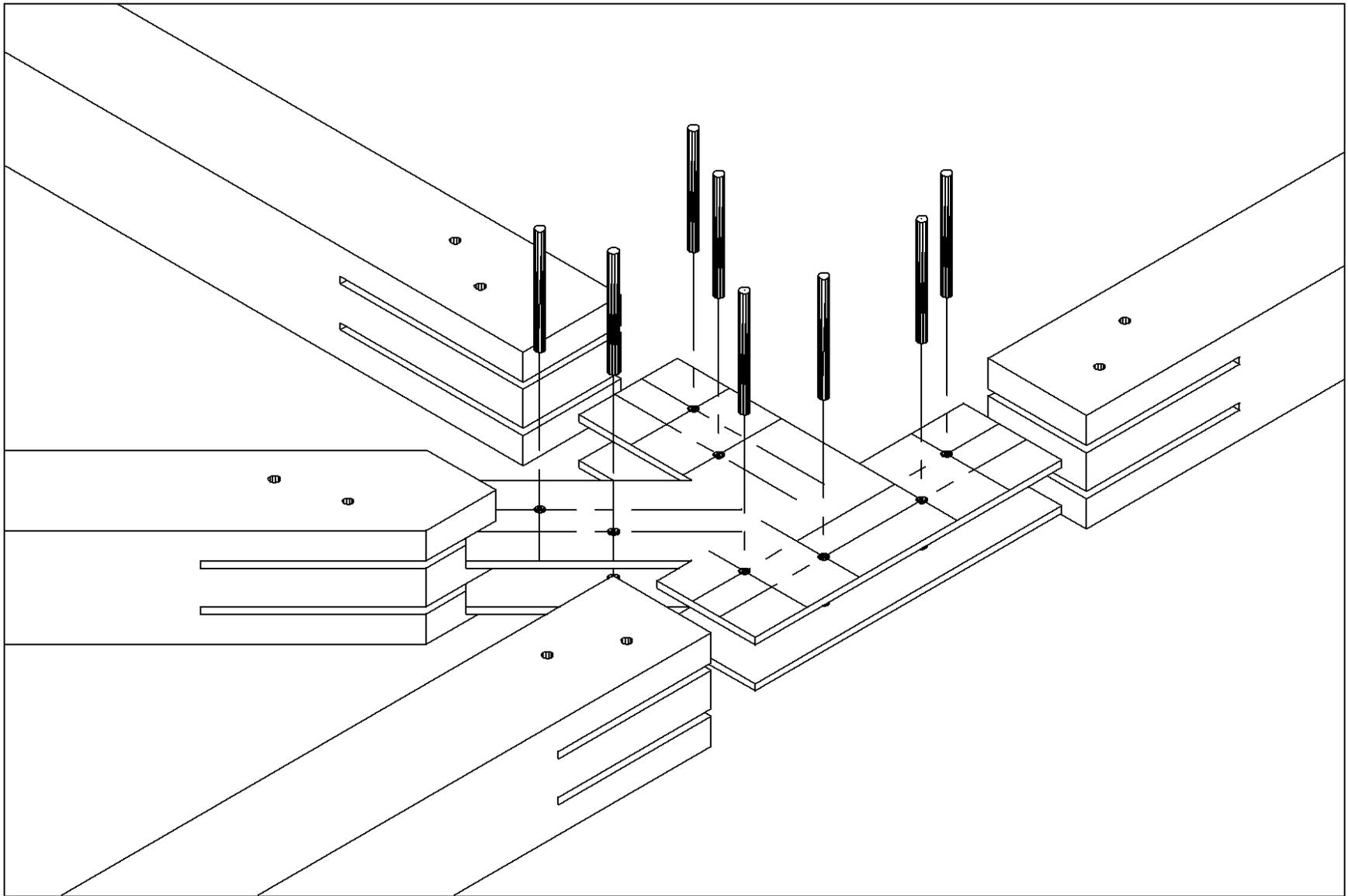
Contiene	Unión tipo C	Escala	1:2	Fecha	19-02-03	Plano	UC
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



Contiene	Unión tipo D	Escala	1:2	Fecha	19-02-03	Plano	UD
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



Contiene	Unión tipo E	Escala	1:2	Fecha	19-02-03	Plano	UE
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							



Contiene	Unión tipo b Despiede	Escala	1:2	Fecha	19-02-03	Plano	UF
GUADUA LAMINADA PEGADA U. N. Arquitectura WALTER BARRETO							