

**OPTIMIZACIÓN DE UNION EN GUADUA  
ANTE SOLICITACION DE FUERZA SÍSMICA**

**RAÚL PRIETO ALZATE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2004**

**OPTIMIZACIÓN DE UNION EN GUADUA  
ANTE SOLICITACION DE FUERZA SÍSMICA**

**RAÚL PRIETO ALZATE**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar  
el título de Ingeniero Civil**

**Director**

**RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ**

**Ingeniero Civil, Ph.D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2004**

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>1</b>	<b>PRESENTACION DEL PROYECTO</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
1.2.1	OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
<b>1.3</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>LA GUADUA EN EL CULTIVO</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>MORFOLOGÍA</b>	<b>3</b>
2.1.1	RIZOMA	3
2.1.2	CULMO	3
2.1.3	YEMA	3
2.1.4	HOJA CAULINAR	3
2.1.5	RAMAS Y FOLLAJE	3
2.1.6	HÁBITO	3
<b>2.2</b>	<b>TAXONOMÍA</b>	<b>3</b>
<b>2.3</b>	<b>SILVICULTURA</b>	<b>3</b>
2.3.1	PROPAGACIÓN	3
2.3.2	SIEMBRA	3
2.3.3	LIMPIEZA	3
2.3.4	FERTILIZACIÓN	3
2.3.5	APROVECHAMIENTO	3
2.3.6	PLAGAS	3
<b>2.4</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>LA GUADUA EN LA CONSTRUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>3</b>
<b>3.2</b>	<b>PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS</b>	<b>3</b>
3.2.1	PROPIEDADES FÍSICAS	3
3.2.2	PROPIEDADES MECÁNICAS	3
<b>3.3</b>	<b>EMPALMES</b>	<b>3</b>
3.3.1	A BISEL	3
3.3.2	PICO DE FLAUTA	3
3.3.3	BOCA DE PESCADO	3
3.3.4	CON OREJA	3
3.3.5	EMPALMES HORIZONTALES	3
<b>3.4</b>	<b>UNIONES</b>	<b>3</b>

3.4.1	EN DOS PLANOS	3
3.4.2	EN UN PLANO	3
<b>3.5</b>	<b>ANCLAJES</b>	<b>3</b>
3.5.1	ANCLAJES POCO RESISTENTES	3
3.5.2	ANCLAJES RESISTENTES A TRACCIÓN	3
3.5.3	ANCLAJES RESISTENTES A COMPRESIÓN	3
3.5.4	ANCLAJES RESISTENTES A MOMENTO	3
3.5.5	OTROS TRABAJOS RELEVANTES	3
<b>4</b>	<b>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA UNIÓN TIPO</b>	<b>3</b>
<b>4.1</b>	<b>PRELIMINARES</b>	<b>3</b>
4.1.1	SELECCIÓN-CORTE DE LA GUADUA	3
4.1.2	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO	3
4.1.3	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	3
<b>4.2</b>	<b>DISEÑO DE UNION</b>	<b>3</b>
4.2.1	PROPUESTAS PRELIMINARES	3
4.2.2	FUERZA HORIZONTAL	3
4.2.3	PROBETAS	3
4.2.4	MECANISMO DE PRUEBA	3
<b>4.3</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>	<b>3</b>
4.3.1	ELEMENTO HORIZONTAL	3
4.3.2	ELEMENTO VERTICAL	3
<b>4.4</b>	<b>FALLAS Y ANÁLISIS</b>	<b>3</b>
4.4.1	ELEMENTO HORIZONTAL	3
4.4.2	ELEMENTO VERTICAL	3
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>3</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>3</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>3</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>71</b>

## LISTA DE FOTOS

<b>Foto 1 Arriero transportando Guadua. Fuente GTZ</b>	<b>3</b>
<b>Foto 2 Pabellón Zeri, Alemania. Arq, Simón Vélez. Fuente Simón Vélez</b>	<b>3</b>
<b>Foto 3 Puente peatonal en Guadua en la región cafetera. Fuente GTZ</b>	<b>3</b>
<b>Foto 4 El rizoma o caimán. Fuente GTZ</b>	<b>3</b>
<b>Foto 5 Tallos de Guadua secos. Fuente GTZ</b>	<b>3</b>
<b>Foto 6 Renuevo. Fuente CRQ</b>	<b>3</b>
<b>Foto 7 Culmo “viche”. Fuente CRQ</b>	<b>3</b>
<b>Foto 8 Culmo “jecho”. Fuente CRQ</b>	<b>3</b>
<b>Foto 9 Culmo seco. Fuente CRQ</b>	<b>3</b>
<b>Foto 10 Hoja caulinar. Fuente CRQ</b>	<b>3</b>
<b>Foto 11 Follaje. Fuente Fed. Nac. de Cafeteros</b>	<b>3</b>
<b>Foto 12 Guadual. . Fuente Fed. Nac. De Cafeteros</b>	<b>3</b>
<b>Foto 13 Culmo bien cortado. Fuente CRQ</b>	<b>3</b>
<b>Foto 14 Proceso de Inmunización. Fuente Fed. Nac. de Cafeteros</b>	<b>3</b>
<b>Foto 15 Mirador en Guadua. Fuente Parque del Café</b>	<b>3</b>
<b>Foto 16 Falla por compresión paralela a las fibras. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 17 Falla por compresión perpendicular a las fibras. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 18 Doblez especial para las probetas CT con ángulo de inclinación. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 19 Falla por compresión a 90°. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 20 Falla por tensión a 90° para SVM. Fuente Universidad Nacional. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 21 Falla por tensión a 90° para JS. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 22 Por tensión a 90° para CT. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 23 Por tensión a 45° y 60° para SVM. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 24 Falla por tensión a 45° y 60° para SVM. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 25 Falla por compresión paralela a las fibras. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 26 Falla por fluencia de la lámina. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 27 Armadura tipo. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 28 Unión en dos planos simétrica con anclaje en mortero y barra atravesada. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 29 Unión en dos planos y anclaje tipo mecánico. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 30 Unión en un solo plano ancladas con pletinas. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 31 Unión en dos planos con un anclaje tipo abrazadera. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 32 Unión en un plano y anclaje de pernos y mortero. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 33 Unión en un plano y anclaje de pernos y mortero. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Foto 34 Guadual no tecnificado, Aratoca. Fuente Jose Gabrielle</b>	<b>3</b>
<b>Foto 35 Integrantes del Proyecto Guadua – UIS. Fuente Jose Gabrielle</b>	<b>3</b>
<b>Foto 36 Unión esquinera utilizada por Jackson y Antonio en su tesis de páneces. Fuente Jackson Hernandez</b>	<b>3</b>
<b>Foto 37 Detalle del refuerzo para el elemento horizontal</b>	<b>3</b>
<b>Foto 38 Sujeción del anillo de acero a la máquina</b>	<b>3</b>
<b>Foto 39 Deformación perno transversal</b>	<b>3</b>
<b>Foto 40 Falla por abolladura y cortante en un plano EHP sin nudo</b>	<b>3</b>
<b>Foto 41 Falla por abolladura y cortante en dos planos EHP con nudo</b>	<b>3</b>
<b>Foto 42 Falla por cortante EHP con nudo</b>	<b>3</b>
<b>Foto 43 Falla por cortante en una sola pared de la Guadual EHP</b>	<b>3</b>
<b>Foto 44 Falla perno transversal</b>	<b>3</b>

<b>Foto 45</b>	<b>Falla por cortante EHL</b>	<b>3</b>
<b>Foto 46</b>	<b>Falla elemento transmisor</b>	<b>3</b>
<b>Foto 47</b>	<b>Falla por cortante múltiple</b>	<b>3</b>
<b>Foto 48</b>	<b>Cortante debido al aplastamiento</b>	<b>3</b>
<b>Foto 49</b>	<b>Aplastamiento EVP sin nudo</b>	<b>3</b>
<b>Foto 50</b>	<b>Aplastamiento EVP con nudo</b>	<b>3</b>
<b>Foto 51</b>	<b>Falla taco de madera</b>	<b>3</b>
<b>Foto 52</b>	<b>EVMA antes de la falla</b>	<b>3</b>
<b>Foto 53</b>	<b>EVMA después de la falla</b>	<b>3</b>
<b>Foto 54</b>	<b>EVL antes de la falla</b>	<b>3</b>
<b>Foto 55</b>	<b>falla por aplastamiento para EVL</b>	<b>3</b>
<b>Foto 56</b>	<b>Incidencia de la Guaya</b>	<b>3</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b>	<b>Bahareque Encementado. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 2</b>	<b>Proceso de Curado. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 3</b>	<b>CHU. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 4</b>	<b>Instituto del Bambú y el Ratán</b>	<b>3</b>
<b>Figura 5</b>	<b>Instituciones interesadas en la Guadua en Colombia</b>	<b>3</b>
<b>Figura 6</b>	<b>Empalme a Bisel. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 7</b>	<b>Empalme Pico de Flauta. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 8</b>	<b>Empalme Boca de Pescado. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 9</b>	<b>Empalmes con oreja. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 10</b>	<b>Empalmes Horizontales. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 11</b>	<b>Unión perpen-dicular en dos planos. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 12</b>	<b>Unión paralela en dos planos. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 13</b>	<b>Unión diagonal en dos planos. Fuente GTZ</b>	<b>3</b>
<b>Figura 14</b>	<b>Uniones perpendiculares en un plano. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 15</b>	<b>Unión Paralela en un plano. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 16</b>	<b>Uniones Diagonales en un plano. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 17</b>	<b>Unión en dos planos anclados con cuerda. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 18</b>	<b>Uniones perpendiculares en un plano con anclajes metálicos y de madera. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 19</b>	<b>Uniones en dos planos con anclaje en alambre y tarugo de madera. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 20</b>	<b>Uniones en un plano con anclaje de alambre y Guadua. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 21</b>	<b>Unión en un plano anclada con la misma Guadua. Fuente Oscar Hidalgo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 22</b>	<b>Anclajes con mortero embebido</b>	<b>3</b>
<b>Figura 23</b>	<b>Propuesta de anclaje metálico</b>	<b>3</b>
<b>Figura 24</b>	<b>Elementos conectores</b>	<b>3</b>
<b>Figura 25</b>	<b>Probeta para analizar la distancia al borde</b>	<b>3</b>
<b>Figura 26</b>	<b>Probeta para analizar la influencia del nudo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 27</b>	<b>Propuesta de anclaje tipo abrazadera</b>	<b>3</b>
<b>Figura 28</b>	<b>SVM 90°</b>	<b>3</b>
<b>Figura 29</b>	<b>CT 90°</b>	<b>3</b>
<b>Figura 30</b>	<b>JS 90°</b>	<b>3</b>
<b>Figura 31</b>	<b>SVM 4 ° - 60°</b>	<b>3</b>
<b>Figura 32</b>	<b>JS 45° - 60°</b>	<b>3</b>
<b>Figura 33</b>	<b>CT 45° - 60°</b>	<b>3</b>

<b>Figura 34</b>	<b>Conexión encontrada resistente a momento “Unión Simón Vélez. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Figura 35</b>	<b>Conexión propuesta ECMF 2. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Figura 36</b>	<b>Conexión propuesta ECMF 1. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Figura 37</b>	<b>Conexión propuesta ECMF 3. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Figura 38</b>	<b>Conexión propuesta ECMF 4. Fuente Universidad Nacional</b>	<b>3</b>
<b>Figura 39</b>	<b>Unión con carga asimétrica. Fuente AIS</b>	<b>3</b>
<b>Figura 40</b>	<b>Unión con carga simétrica. Fuente AIS</b>	<b>3</b>
<b>Figura 41</b>	<b>Reacciones en la prueba para la conexión en T. Fuente AIS</b>	<b>3</b>
<b>Figura 42</b>	<b>Barra embebida a tracción. Fuente AIS</b>	<b>3</b>
<b>Figura 43</b>	<b>Barra embebida a cortante. Fuente AIS</b>	<b>3</b>
<b>Figura 44</b>	<b>Conexión conectada con clavos. Fuente AIS</b>	<b>3</b>
<b>Figura 45</b>	<b>Codo ensamblado. Fuente AIS</b>	<b>3</b>
<b>Figura 46</b>	<b>Unión Caso 1.</b>	<b>3</b>
<b>Figura 47</b>	<b>Unión Caso 2.</b>	<b>3</b>
<b>Figura 48</b>	<b>Propuestas preliminares para el Elemento Horizontal.</b>	<b>3</b>
<b>Figura 49</b>	<b>Propuestas preliminares para el Elemento Vertical</b>	<b>3</b>
<b>Figura 50</b>	<b>Conexiones resultantes propuestas</b>	<b>3</b>
<b>Figura 51</b>	<b>24 Pánel Muro</b>	<b>3</b>
<b>Figura 52</b>	<b>5 Pánel Puerta</b>	<b>3</b>
<b>Figura 53</b>	<b>5 Pánel Ventana</b>	<b>3</b>
<b>Figura 54</b>	<b>Probeta EVP.</b>	<b>3</b>
<b>Figura 55</b>	<b>Probeta EHP</b>	<b>3</b>
<b>Figura 56</b>	<b>Probeta EVMa</b>	<b>3</b>
<b>Figura 57</b>	<b>Probeta EVMo</b>	<b>3</b>
<b>Figura 58</b>	<b>Probeta EHL</b>	<b>3</b>

## **LISTA DE GRAFICOS**

<b>Gráfico 1</b>	<b>Relación Fuerza-Deformación para los 3 tipo de paneles</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 2</b>	<b>Resultados para las probetas EHP con nudo</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 3</b>	<b>Resultados para las probetas EHP sin nudo</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 4</b>	<b>Resultados para las probetas EHL</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 5</b>	<b>Resultados para las probetas EVP con nudo</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 6</b>	<b>Resultados para las probetas EVP con nudo</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 7</b>	<b>Resultados para las probetas EVMo</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 8</b>	<b>Resultados para las probetas EVMa</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 9</b>	<b>Resultados para las probetas EVL</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 10</b>	<b>Comparación de EHP con y sin nudo</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 11</b>	<b>Comparación EHP con nudo vs EHL</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 12</b>	<b>Comparación EVP con y sin nudo</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 13</b>	<b>Comportamiento EVMo vs. EVMa</b>	<b>3</b>
<b>Gráfico 14</b>	<b>Comportamiento EVMa vs EVL</b>	<b>3</b>

## RESUMEN

### TITULO

OPTIMIZACIÓN DE UNIÓN EN GUADUA ANTE SOLICITACIÓN DE FUERZA SÍSMICA<sup>\*</sup>

### AUTOR

PRIETO ALZATE, Raúl<sup>\*\*</sup>

### PALABRAS CLAVES

Vivienda, Guadua, Unión, Empalme, Anclaje, Resistencia, Rigidez, Deformación, Optimización.

### DESCRIPCIÓN

Con este proyecto se finaliza una primera fase de investigación realizado por el INME para obtener unos conocimientos básicos de la Guadua como material primordial en la conformación de vivienda y poder fundamentar cualquier construcción realizada en la región.

Con base en las propiedades de la Guadua encontradas en la tesis de Hernán y Gabrielle, los estudiantes Hernández y Santos evaluaron el comportamiento de tres tipos de paneles en Guadua con la idea de conocer su rigidez ante fuerzas horizontales para una vivienda de un piso. Aunque no colapsó ningún panel si se ocasionó grandes deformaciones para cargas muy bajas debido a la deformación presentada en las uniones.

Por esta razón se investigó qué tipo de uniones se han utilizado en construcciones con Guadua y con base en ellas se propuso una unión óptima en resistencia y costo para ser utilizado en los paneles que conformarán la vivienda. Se evaluó experimentalmente confirmándose su validez.

---

<sup>\*</sup> Proyecto de Grado.

<sup>\*\*</sup> Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, CRUZ H. Ricardo A.

## ABSTRACT

### TITLE

UNION OPTIMIZATION IN BAMBOO BY SOLICITATION OF SEISMIC FORCE \*

### AUTHORS

PRIETO ALZATE, Raúl\*\*

### KEY WORDS

Housing, Guadua, Union, Connection, Anchorage, Resistance, Stiffness, Deformation, Optimization.

### DESCRIPTION

This project concludes the first phase of an investigation carried out by the INME. The objective of this phase was to obtain some basic knowledge of the Bamboo as a fundamental material in the conformation of dwelling as support of any construction carried out in the region.

This project is based in a previous work, made it by the students Hernández and Santos, which evaluates the behavior of three types of boards in Bamboo with the idea to know their inflexibility by horizontal forces for a flat dwelling. Although the board did not breakdown, it suffered large deformations by very low loads due to the deformation presented in the unions.

For this reason, this project shows, at least, how four types of union are used in constructions with Bamboo. Based on this investigation the project proposes an optimus union in resistance and cost to be used in the boards that will conform the dwelling. It also evaluates the validity of the proposed union.

---

\* Grade Project.

\*\* Physics-Mechanics Engineering Faculty, Civil Engineering School, CRUZ H. Ricardo A.

# 1 PRESENTACION DEL PROYECTO

“La vivienda tradicional de paredes de bahareque, teja de barro y colores vivos se elevan en medio de una excitante topografía, bordeada de feroces montañas... creador material e intelectual es el muchas veces desconocido artesano que con sus manos y rústicas herramientas, hizo acopio de los materiales que le ofreció la naturaleza, para así dar inicio a una choza que inicialmente sería de vara en tierra y con el tiempo se perfeccionaría para concluir en la llamada casa de bahareque... desde los espacios que encierran las formidables habitaciones, se consolidó no solo una forma de vida, sino una identidad regional. No puede haber Quindío como significado cultural, sin la formación de las casas de bahareque....”<sup>1</sup>

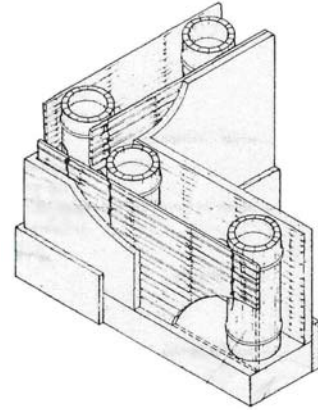


Figura 1 Bahareque Encementado

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Para la idiosincrasia antioqueña, la Guadua ocupó un papel importante en su colonización con una técnica constructiva indígena llamada bahareque y que al presente integra columnas y envigados de este material, con marcos de madera y entramados en Guadua recubiertos con esterilla, malla y mortero y que hoy se le conoce como bahareque encementado. La seguridad de este sistema estructural es reconocida en nuestros días al incorporarse esta técnica a la NSR-98<sup>2</sup> pero la Guadua como elemento estructural único aún no está registrada.



Foto 1 Arriero transportando Guadua

<sup>1</sup> FLOREZ ARCILA Mónica Liliána. Relatos desde el Bahareque. Centro de publicaciones de la Universidad del Quindío. Armenia, febrero de 2000; pág. 13.

<sup>2</sup> Decreto número 52 de 2001 por medio del cual se modifica y adiciona el Capítulo E del Decreto 33 de 1998 al Reglamento de construcciones sismo resistentes, NSR-98. Bogotá, D. C. 2002. Ministerio de Desarrollo Económico.

Este proyecto es la continuación de otros dos más, realizados por el INME<sup>3</sup> para obtener unos conocimientos básicos de la Guadua como material primordial en la conformación de vivienda y poder fundamentar cualquier construcción realizada en la región.

Con base en las propiedades de la Guadua cultivada en Santander encontradas en la tesis de Hernán y Gabrielle<sup>4</sup>, los estudiantes Hernández y Santos<sup>5</sup> realizaron en su proyecto de grado, tres tipos de paneles construidos solo en este material sin ningún recubrimiento con la idea de conocer la resistencia y rigidez que aporta un esqueleto conformado por Guadua ante la solicitación de una carga sísmica para una vivienda de un solo piso, fuerza importante en una estructura de este tipo, debido al problema que se presenta en la conexión de sus elementos para la estabilidad de la estructura en el sentido horizontal. En las pruebas realizadas no colapsó ningún panel debido a la gran estabilidad elasticidad del material pero también a la gran flexibilidad que se presentó en las uniones conformadas.

El tema de uniones es importante en este tipo de construcciones ya que la Guadua al ser un material orgánico como la madera pero de características muy diferentes, no se puede utilizar los mismos anclajes que en ella se utilizan. Su forma geométrica y la constitución de sus paredes son algunos de los problemas que se presentan al tratar de unir elementos de este material. Aunque a la Guadua se le atribuyen muchas bondades, si no se sabe trabajar con ella se puede convertir en una material inútil e improductivo. Es por esto que se debe conocer primero a la Guadua como el material viviente que es, para luego sí poder solucionar los inconvenientes que se puedan presentar al trabajar con ella.

Para este trabajo se desarrollará primero un capítulo en donde se muestre las partes que la conforman y su utilidad para un correcto aprovechamiento, además de unas recomendaciones necesarias para una explotación sostenible tanto en el gradual como en obra. Se realizará un censo de anclajes que se han venido planteando en diferentes tesis para tener una idea clara de las falencias y virtudes que se pueden llegar a presentar. Analizada dicha información y teniendo presente el tipo de unión y anclaje utilizado en la tesis de paneles se presentará una propuesta de unión viable en base a resultados obtenidos de probetas diseñadas para tal fin con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

---

<sup>3</sup> INME, Grupo De Investigación En Materiales De Construcción Y Estructuras adscrito a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander

<sup>4</sup> GABRIELLE José Luis y HERREA Hernán Darío. Parámetros De Diseño De Elementos De Guadua Cultivada En El Municipio De Aratoca. Bucaramanga, 2004. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de Grado (Ing. Civil)

<sup>5</sup> HERNANDEZ Jackson y SANTOS Antonio. Estudio Sobre El Comportamiento De Páneles Para La Conformación De Vivienda. Bucaramanga, 2004. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de Grado (Ing. Civil)

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Optimizar la resistencia y costo que tendrá una unión con Guadua en una propuesta de vivienda ante la sollicitación de fuerzas inerciales.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Investigar que tipo de uniones se han propuesto y utilizado en construcciones con Guadua y elaborar un registro de ellas con sus respectivas explicaciones.

Estimar la fuerzas inerciales que se presentarán en un prototipo de vivienda de un solo piso hecha en Guadua y deducir la resistencia que deberá tener la unión a estudiar.

Examinar el beneficio que presentan aquellas uniones aprovechables en la vivienda propuesta y presentar una unión en Guadua mejorada con base en la fuerza sísmica que se deba resistir.

Evaluar experimentalmente la unión planteada y confirmar su validez o insuficiencia.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Después del terremoto del eje cafetero (enero 25/99), se comienza el mejoramiento de procesos constructivos alternativos para la edificación de obras que logren suplir la demanda de viviendas, escuelas, templos... a bajo costo para así reemplazar las que habían resultado afectadas por dicho sismo. Al ser la Guadua un componente típico de aquella región, resultó conveniente profundizar más su estudio como material de reconstrucción en la zona y es así como el FOREC<sup>6</sup> comisiona a la AIS<sup>7</sup> un estudio sobre el comportamiento de elementos y ensambles de bahareque encementado a la par que las universidades se interesan más por este material alternativo.

Pero es mucho antes, a partir de la invención que hace el arquitecto Simón Vélez, donde se empieza a explotar debidamente la Guadua como material alternativo en la construcción:

---

<sup>6</sup> FOREC, Fondo para la Reconstrucción y Desarrollo Social del Eje Cafetero

<sup>7</sup> AIS, Asociación de Ingeniería Sísmica

“Hace 15 años, más o menos, descubro la manera de hacer uniones de tracción para estructuras de Guadua, inyectando concreto en los cañutos involucrados con dicha unión.... Este es uno más de los materiales de la canasta de la construcción con que un arquitecto o ingeniero de un país como Colombia debería conocer y saber trabajar tal como se hace con el



Foto 2 Pabellón Zeri, Alemania. Arq, Simón Vélez

concreto o la madera. La Guadua como sinónimo de pobreza y de miseria es un estigma al que me he dedicado combatir. La Guadua ... es la máxima expresión de la riqueza de nuestra biodiversidad... cuando se aprende a trabajar es un material de alta tecnología superando incluso, en su relación peso resistencia, al acero de la mejor calidad”.<sup>8</sup>



Foto 3 Puente peatonal en Guadua en la región cafetera

El mayor consumo de Guadua esta asociado a la construcción gracias a sus estupendas propiedades de resistencia, liviandad y abundancia. Nuestros antepasados construían con este material sus viviendas y puentes y ambos usos se siguen transmitiendo hasta hoy día (El barrio “Ciudad Alegría” en Quindío y el puente peatonal “Jenny Garzón” en Bogotá, son solo algunos ejemplos). Es por esto que los últimos trabajos de la academia están relacionados con uniones, tema neurálgico cuando se trata de edificaciones de Guadua. Además de esto la mayoría de construcciones hechas en este material como quioscos y puentes las cuales no definen un sistema y la Guadua trabaja como elemento único en la estructura, se vienen realizando en forma empírica, casi sin ningún diseño y donde el único criterio que prima es la experiencia en ese tipo de construcciones.

El grupo INME de la UIS desea comenzar con estas primeras tesis sobre la Guadua, abrir el camino en la investigación de este material en Santander para que mediante su cultivo, estudio y aprovechamiento se promueva y ejecute proyectos de interés en general, se desarrollen planes de fomento y capacitación con las entidades pertinentes en la región

<sup>8</sup> Tomado de <http://www.ebf-bamboo.org/expo2000/> “Resumen De Los Pruebas Hechas En Alemania Para Conseguir El Permiso De Construcción”

## 2 LA GUADUA EN EL CULTIVO<sup>9</sup>

Los bambúes son plantas extremadamente diversas y económicamente importantes que crecen en regiones tropicales y templadas de Asia y América a excepción de Canadá. Por su rápido crecimiento, versatilidad y resistencia ésta maravilla gramínea ha sido de gran utilidad para el hombre a lo largo de su historia. Se conocen como las gramíneas más grandes del mundo distribuidas en más de 80 géneros y 1000 especies en todo el mundo y crecen desde el nivel del mar hasta los 4.000 m de altura, aunque prefieren los hábitat húmedos de las selvas nubladas y selvas tropicales

Solo en América existen alrededor de 45 géneros y 515 especies, es decir la mitad de la diversidad mundial y solo en Brasil se encuentran 22 géneros lo que representa el 48% de todos los géneros Americanos.

En Colombia la mayor diversidad de bambúes leñosos se da en la región Andina entre los 2.000 y 3.000 m de altitud. La cordillera Oriental es la más rica en especies (65%), le sigue la Central y la cordillera Occidental.

### 2.1 MORFOLOGÍA

Los bambúes son plantas con gran diversidad morfológica; las hay de pocos centímetros y tallos herbáceos hasta bambúes de 30 m de altura y tallos leñosos, como la Guadua. Debido a su naturaleza especializada y a su floración infrecuente, se le ha dado mucha importancia para los estudios taxonómicos a estructuras morfológicas tales como rizoma, culmo, yema, complemento de rama, hoja caulinar y follaje

---

<sup>9</sup> La información mostrada en este capítulo es extractada en su mayoría del Taller teórico-práctico Distribución, Morfología, Taxonomía, Anatomía, Silvicultura y Usos de los Bambúes del Nuevo Reino realizado por la Ing. Ximena Londoño P. Jardín Botánico de Cienfuegos, Cuba. 7-17 de Sep / 1993

### 2.1.1 Rizoma

Eje segmentado, subterráneo, que constituye la estructura de soporte de la planta y juega un papel importante en la absorción de nutrientes. Consta de: a)  *cuello*, que es la parte que primero se desarrolla, carece de yemas y generalmente es corto y b) el  *rizoma* en si, que se caracteriza por su posición típicamente subterránea, por la



Foto 4 El rizoma o caimán

presencia de raíces, yemas y brácteas. Su importancia radica en el sistema de red que constituye los primeros 50-100 cm. del suelo y que estabiliza laderas conservando el suelo y previniendo la erosión Son utilizados en la elaboración de artesanías.

### 2.1.2 Culmo

Es el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma. El culmo consta de: a) cuello que es la unión entre el rizoma y el culmo y b) entrenudos o porción del culmo entre dos nudos. Las distancias entre nudos son constantes sin embargo se observa un incremento gradual de la base hacia la porción media y luego una reducción hacia el ápice. Carecen de tejido de cambium motivo por el cual no tienen crecimiento secundario o incremento en diámetro, solamente



Foto 5 Tallos de Guadua secos

crecimiento primario o apical. Los primeros 3 m de culmos de abajo hacia arriba se llama Cepa y es la parte más ancha de toda la guadua, los siguiente 11 m se le conoce como Basa y es la parte más comercial por su cómodo diámetro, le siguen 4 m de sobre-basa y terminan con 5 m en varillón y copa. De acuerdo a su estado de madurez tiene diferentes usos:

-  *Brotes nuevos o renuevos*: Comprende desde la aparición hasta llegar a su máxima altura. Son de color verde intenso y presentan dos bandas blancas en cada nudo. No presenta ramas apicales y siempre está cubierto por hojas caulinares. Nunca se deben cortar aunque en países asiáticos se consumen frescos o en encurtidos y en Tanzania elaboran una bebida popular recolectando la savia y dejándola fermentar produciéndose así una especie de vino. Tailandia y Taiwán exportan renuevos generando divisas por más de US\$ 50 MM.

- *Culmos jóvenes* : En esta fase se eliminan todas las hojas caulinares de la parte superior y se conservan las basales. Las bandas nodales se siguen apreciando de un color muy blanco y el culmo de color verde intenso. Aparece las ramas apicales así como el follaje. Tampoco se deben cortar en esta etapa aunque se utilizan sobretodo para la elaboración de canastos y esteras. Según el sonido, los agricultores determinan su madurez. Grave es “viche”, agudo es “jecha”

- *Culmos maduros* : no hay hojas caulinares en ninguna parte y se adquiere la mayor resistencia. Al finalizar el primer año se desprenden el 90% de las hojas caulinares y se denomina tallo en estado viche. Presentan manchas liquenosas y musgo. Desaparecen las bandas nodales,. Se les ha reportado más de mil usos, los más importantes como material de construcción, labores agropecuarias, fabricación de muebles y artesanías, producción de textiles y de pulpa para papel.

- *Culmos Secos* : No hay presencia de follaje y son de color amarillo pálido. No se deben dejar llegar los tallos a este estado debido a la sostenibilidad del Guadual. Pierden cualquier resistencia. En esta fase se hacen propicios para refugio y lugar de anidación de aves



Foto 6 Renuevo



Foto 7 Culmo "viche"



Foto 8 Culmo "jecha"



Foto 9 Culmo seco

### 2.1.3 Yema

Están siempre protegidas por un profilo, pueden ser activas o inactivas, de carácter vegetativo o reproductivo. Se localizan por encima de la línea nodal y en posición dística. Rompen su inactividad generalmente cuando el culmo ha completado el crecimiento apical. Tienen una sola yema por nudo. Las yemas cumplen un papel importante en el campo de la biotecnología para la propagación “in vitro” además de estudios taxonómicos.

#### 2.1.4 Hoja Caulinar

Es la estructura que nace en cada nudo del culmo y tiene como función proteger la yema que da origen a las ramas y follaje. Presenta cambios progresivos en su tamaño y forma a lo largo del culmo. Se utilizan para artesanías y como elemento decorativo. Las hojas que se desprenden enriquecen el suelo al descomponerse y forman una rica capa de humus. Son importantes a nivel de especies, secciones y géneros.



Foto 10 Hoja caulinar

#### 2.1.5 Ramas y Follaje

Su número y organización varía mucho pues existe desde 1 hasta 100 ramas por nudos. En algunos casos se modifican y llegan a transformarse en espinas. Las ramas sostienen el follaje, estructura básica en el proceso fotosintético. Las ramas secas se utilizan en labores agrícolas para tutorar cultivos de frijol, arveja y las ramas apicales tienen alto contenido de fibra aprovechadas para la fabricación de papel. En los Andes el follaje es utilizado como alimento para curíes y conejos. El follaje que cae al suelo sirve de esponja retenedora de las aguas lluvias



Foto 11 Follaje

#### 2.1.6 Hábito

Forma típica y natural asumida por la parte aérea de una planta de Guadua y que está ligada directamente a su sistema rizomático y al hábito de crecimiento. Este carácter toma importancia cuando se realizan aprovechamientos silviculturales, facilitándose la extracción de los culmos. La diversidad de



Foto 12 Guadua

formas y de hábitos hacen de la Guadua un elemento ideal en la ornamentación. El guadua embellece el paisaje y juega un papel importante como barreras rompevientos

## 2.2 TAXONOMÍA

Se entiende por taxonomía a la ciencia que describe, nombra y clasifica los organismos, utilizando la flor como la unidad básica para la identificación. Para poder llevar a cabo estos estudios, es necesario realizar trabajos de campo y de laboratorio la cual ha sido una limitante para la Guadua debido a los ciclos peculiares de su floración, con intervalos de 10, 20, 40 y 120 años.

En el Viejo continente se han venido realizando trabajos desde hace 150 años, en comparación de los 50 que se ha venido estudiando en América. Trabajos de Clark, Daise, Judziewiez, Ximena Londoño y Zuluaga (Colombianos), han contribuido a esclarecer el concepto de la subfamilia Bambusoideae y a comprender los límites de las tribus en que se agrupan los bambúes del geotrópico en América.

La Guadua se caracteriza por tener: Rizomas fuertes bien desarrollados, culmos lignificados, brotes nuevos protegidos por hojas caulinares, complejo sistema de ramificación, floraciones cíclicas con intervalos largos, espiguillas multifloras y cuerpos silíceos verticalmente elongados

Los bambúes leñosos son los más numerosos y dispersos en la subfamilia Bambusoideae, crecen en hábitat abiertos y son polinizados por el viento. Existen un total de 61 géneros y 900 especies agrupados en 1 tribu y 9 subtribus de las cuales 4 son exclusivas del Nuevo mundo entre ellas la Guaduinae. En América las especies Guaduas son las más utilizadas entre los 0-1.500 m de altitud mientras que las de Chasquea y Aulonemia son más utilizadas por las comunidades ubicadas por encima de los 2.000 m.s.n.m.

División:	Espermatofitas
Subdivisión:	Angiosperma
Clase:	Monocotiledónea
Subclase:	Commelinidae
Orden:	Glumiflorales
Familia:	Gramíneas
Subfamilia (5):	Bambusoideae
Supertribu (2):	Bambusodae
Tribu (5):	Bambuseae
Subtribu (9):	Guaduinae
Género:	Guadua
Ecotipos:	Macana, Cebolla,

## 2.3 SILVICULTURA

Aunque la silvicultura trata sobre el cultivo y aprovechamiento de los bosques o montes acá se tratará de explicar las formas en que se puede propagar la Guadua para poderla sembrar y lograr un Guadua aprovechable según el uso que se le quiera dar.

### 2.3.1 Propagación

Bajo condiciones naturales la regeneración del bambú ocurre a través de rizomas, semillas y ramas laterales enterradas. El hombre para su cultivo ha implementado varios métodos de propagación de los cuales se describirán a continuación solo cuatro.

- *Por Semilla*: La posibilidad de propagar bambúes por semilla no es un método práctico debido a los largos ciclos de semillación de estas gramíneas y a la dificultad de obtener simientes en algunos de ellos. En América, las semillas de la Guadua Angustifolia presentan porcentajes altos de germinación (95-100%) sin embargo la probabilidad de que esta produzca semillas es escasa ya que un alto porcentaje de los flósculos de la espiguilla son parasitados en estado inmaduro por larvas de insectos.

- *Por Rizomas con segmento de tallo* : Se considera como el mejor método de propagación. La actividad de brotes se da después del año de sembrado. En Colombia las Corporaciones Regionales han implementado este método mediante “chusquines”<sup>10</sup>. Se considera el método más ventajoso por la facilidad de obtención del material, la alta eficiencia y economía.

- *Por segmentos de riendas o “ganchos”* : el material de propagación son las ramas con espinas que se desarrollan en los entrenudos bajos del culmo y que se conocen con el nombre de riendas o ganchos. De una rienda sale varias “yemas” para propagar Este método es también recomendado por las Corporaciones Regionales debido a la fácil obtención del material ya que se utiliza una estructura vegetativa generalmente desaprovechada (riendas) y además presenta un alto porcentaje de prendimiento.

---

<sup>10</sup> Chusquín : término que se tomó del parecido morfológico existente entre los primeros estados de desarrollo de una plántula de Chusque con un brote basal del rizoma de la Guadua. Comienzan a emerger a los 2 o 3 meses de haberse cortado el tallo aéreo de la planta

- *Por In Vitro* : Se realiza en el laboratorio bajo condiciones asépticas y mediante el uso de yemas auxiliares colocados en un medio gelatinoso (agar) complementado con fitohormonas y vitaminas. La gran ventaja es la múltiple obtención del material que se consigue a partir de una yema meristemática ya que la multiplicación es logarítmica además de evitar la homogeneidad en las plantaciones comerciales futuras..

### 2.3.2 Siembra

Hay que tener en cuenta el objetivo de la planta; si es comercial, conservacionista u ornamental. Comercialmente a la Guadua se le recomienda distancias más amplias de siembra entre surcos que entre plantas con el fin de lograr una mayor incidencia de los rayos solares sobre el cultivo (4x4 m ó 7x7 m). Se debe realizar al inicio de las épocas de lluvia

### 2.3.3 Limpieza

Para su buen desarrollo es muy importante el control de malezas en la primera fase de crecimiento. En los dos primeros años de la Guadua se puede asociar con fríjol, maíz, soya lográndose un doble propósito: mantener la plantación libre de malezas y lograr un ingreso extra para el agricultor.

### 2.3.4 Fertilización

Al igual que las especies forestales se requiere de ciertos elementos en el suelo de manera que si hay deficiencias en alguno de ellos deberá ser agregado en la dosis y momento oportuno. Por ser una gramínea responde rápido a la aplicación de úrea y abonos orgánicos. Las aplicaciones de fertilizantes a base de nitrógeno, fósforo, potasio y boro son necesarias para el buen desarrollo de la Guadua considerando siempre los requerimientos del suelo

### 2.3.5 Aprovechamiento

La explotación sistemática y regular, incrementa la producción de culmos y facilita la cosecha, mientras que la explotación excesiva y continua, reduce la producción de culmos y conduce a la extinción del cultivo. Para la Guadua se ha comprobado que entre 4 y 6 años la especie alcanza su pleno desarrollo para su comercialización. A partir de este momento

se debe seguir un plan de aprovechamiento y mejoramiento. Se recomienda una intensidad de entresaca de culmos comerciales hasta del 35% con una periodicidad de 12 a 18 meses para un mismo sitio. El rendimiento esperado es de 500-1500 culmos/Ha/año. Después del 6° año se encuentran entre 4500 y 5000 matas x Ha donde el 70% son maduras, 18% verdes, 4 % rebrotes y 8% son secas aproximadamente.

### 2.3.6 Plagas

Las poblaciones de bambúes son poco afectadas por plagas y enfermedades si se compara con otros cultivos. Durante la fase de renuevo es cuando el bambú sufre más el ataque por parte de coleópteros, saltamontes, termitas y áfidos los cuales perforan los culmos. También los roedores, micos, ardillas... roen los rizomas o se comen los renuevos. Sin embargo cuando están sobre maduros son atacados por el *Didnoderus minutus* considerado la mayor amenaza para el bambú cortado. Para la *Guadua Angustifolia* en su estado natural una plaga importante es el coleóptero *Pudichmus Agemur* que perfora exclusivamente los renuevos, indispensables en la producción y la larva de una mariposa de la familia *Arctidae* o *Megalophidae* que defolia los rodales. Sobre los hongos poco se ha investigado en Colombia especialmente aquellos descomponedores que atacan los culmos mal cortados en el guadal. El fuego es otra fuente seria de daño, la quema de cañaduzales en el Valle del Cauca es una causa real del deterioro de los guaduales en esa región del país.

## 2.4 RECOMENDACIONES

La época ideal para sembrar es en el período húmedo y para cosechar es durante el periodo seco ya que la emisión de brotes en esta época es baja y el contenido de humedad en los culmos también, facilitando el transporte y reduciendo la aparición de plagas y enfermedades post-cosecha.

Para la selección de los culmos a cortar, durante la limpieza, se debe tener en cuenta la edad, color y calidad de la *Guadua*. Los culmos más viejos y deteriorados deben ser los primeros en cortarse y los jóvenes e inmaduros solamente se deben cortar si están muy infectados con plagas y enfermedades.

La sabiduría campesina y la investigación aplicada han demostrado la relación de contenido de agua en la Guadua y las fases de la luna. Se recomienda cortar en menguante y en la madrugada, antes de iniciarse el proceso de fotosíntesis donde la poca circulación de líquidos en el tallo evitará más tarde el ataque de insectos. Se debe cortar a una altura de 15-30 cm. por encima del suelo y quedar por encima del nudo para evitar la pudrición posterior del rizoma.



Foto 13 Culmo bien cortado

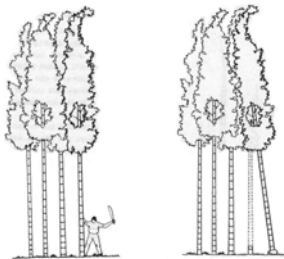


Figura 2 Proceso de Curado

Una vez cortada la Guadua se le debe de “curar”. Esto es dejarla secar en forma natural dejándola en pie en el mismo Guadual para que escurra la savia por un tiempo no menor de 30 días y por encima del suelo. No se le debe de cortar las ramas ni el follaje. Por acumulación de gases en el culmo durante el curado la Guadua tiende a rajarse cuando se le pone a secar. Se hace necesario efectuar orificios en los cañutos para la liberación de dichos gases. El curado garantiza mayor durabilidad y disminuye el ataque de insectos.

La inmunización es importante para la mayor durabilidad de la Guadua, para la protección de hongos e insectos y la putrefacción. Al inmunizarlas estas deben estar completamente secas para lograr una penetración apropiada y la mezcla más común se le conoce con el nombre de “pentaborato”<sup>11</sup>. Además se debe tener en cuenta la protección por diseño ya que la Guadua no le debe caer directamente el sol y humedad



Foto 14 Proceso de Inmunización

Para la construcción de viviendas no se deben emplear guaduas que hayan sido atacadas por insectos, que presenten señales de pudrición o rajaduras ya que estas se prolongan con el tiempo. Debido a la disposición de las fibras en la pared de la Guadua esta tiende a rajarse limitando el uso de clavos y puntillas, luego toda perforación deberá ser pretaladrada.

<sup>11</sup> Pentaborato: se compone de 1 Kg. de ácido bórico y 1 Kg. de borax por cada 50 lt. de agua. Se debe dejar actuar mínimo 8 hr para después dejarla escurrir.

### 3 LA GUADUA EN LA CONSTRUCCIÓN

“Desde su llegada al Quindío los colonos encontraron a porrillo la Guadua ...y la utilizaron para hacer sus casas, sus camas, los instrumentos musicales, la banqueta, la tapia del fogón, el aparador, el tarro de sal, el cedazo, el parapeto para la piedra de moler, los burros típicos para el juego de los niños, la trampa para las perdices, el horcón del patio donde amarrar la vaca recién parida, las



Foto 15 Mirador en Guadua

estacas y talanqueras del potrero, las canoas que conducen el agua limpia desde la acequia, el lavadero, la puerta de trampas, la troje, las jaulas, la cuna del recién nacido, la barbacoa o parihuela para el muerto, la cruz del cementerio campesino...”<sup>12</sup>. Así como nos demuestra Jaime Buitrago en la anterior prosa, la Guadua ha sido el símbolo de la civilización en Colombia, como la porcelana en Asia, la piedra en Europa o el hierro en los Estados Unidos

#### 3.1 ANTECEDENTES



Figura 3 CHU<sup>13</sup>

En países como Japón, Malasia, Indonesia, Costa Rica, Puerto Rico y Brasil se han realizado investigaciones sobre el cultivo, propiedades, desarrollo y usos del bambú así como beneficios y problemas que acarrear su uso. Estos estudios realizados en cualquier país sirven como parámetro de referencia más no como medida a seguir en las demás regiones porque aunque la Guadua que se estudia sea de la misma especie, sus propiedades físicas y mecánicas varían de acuerdo con las características físico-ambientales de cada territorio.

El Proyecto Nacional del Bambú, PNB, fue uno de estas primeras investigaciones en América que se inició con ayuda de asesores internacionales y de la ONU con el fin de prevenir la deforestación e incentivar la construcción de vivienda con material alternativo,

<sup>12</sup> Fragmento tomado del libro “Hombres Transplantados”, Jaime Buitrago, Manizales 1943, Pág. 68

<sup>13</sup> CHU: Carácter chino para designar el bambú.

económico y sostenible de personas de escasos recursos. Se recolectaron experiencias principalmente de Colombia y Ecuador para luego desarrollar en Costa Rica en 1986 un programa intensivo de construcción en áreas rurales, incluyendo capacitación técnica, cultivos masivos de bambú, asesoría ambiental, tecnológica, producción de muebles y artesanías para la exportación. Hasta el 98 se habían construido 3000 soluciones de vivienda de las cuales 30, construidas en la comunidad de Río Banano al sur de Puerto Limón, soportaron satisfactoriamente un sismo de magnitud 7.5 en la escala de Richter ocurrido el 22 de abril de 1991.<sup>14</sup>

En Colombia a finales del siglo pasado se comenzó a estudiar la Guadua considerando sus posibilidades estructurales y económicas. La organización GTZ de Alemania en coordinación con la Universidad Tecnológica de Pereira, UTP, y la Corporación Regional del Quindío, CRQ, desarrollaron el plan de vivienda para el municipio de Córdoba (Quindío) como un ejemplo del trabajo desarrollado en la región. El resultado fue la capacitación de mano de obra y asistencia durante todo el proceso constructivo con la emisión de una cartilla que indica uno a uno los pasos para la edificación de una casa con Guadua.

Pero Tal vez es el Arquitecto Oscar Hidalgo López quien más a investigado sobre el Bambú en el país. Es reconocido a nivel internacional como una eminencia en el tema, y como tal fue invitado por la ONU a ayudar en la conformación del PNB de Costa Rica. Su trabajo “Bambú, su cultivo y aplicaciones...” editado desde 1974 con el patrocinio de Colciencias, La



Figura 4 Instituto del Bambú y el Ratán

Federación Nacional. de Cafeteros de Colombia y el Fondo Colombiano de Investigaciones y Proyectos Especiales “Francisco José de Caldas” es uno de los más completos trabajos de investigación que se tengan hasta el momento. En el 76 fundó el Centro de Investigación del Bambú y la Madera CIBAM en la Universidad Nacional de Colombia y ha trabajado con el INBAR en la publicación de una enciclopedia que extracta todos sus conocimientos acerca de la Guadua. El INBAR fue fundada en 1997 para consolidar y reforzar las actividades de investigación derivados del bambú y el Ratán

Otro excelente investigador, por que no así decirlo, ha sido el también arquitecto Simón Vélez, quien se ha esforzado con su diseños y construcciones en Guadua en mostrar de este material uno más en el campo de la construcción como el acero, el concreto y/o la madera. Gracias a la conexión que hace en las uniones encontró la manera de diseñar sus

---

<sup>14</sup> GUTIERREZ Jorge A., Comportamiento Estructural y resistencia sísmica de las viviendas en bambú, Memorias Primer Congreso Mundial de Bambú/Guadua, Pereira 1992

impresionantes estructuras y abrió las puertas para posteriores investigaciones relacionadas con el tema de uniones, punto neurálgico en diseño de estructuras de este tipo de material. Y es con la construcción del Pabellón de Guadua en Expo Hannover 2000 para la fundación Zeri donde la Guadua alcanza su mayor prestigio y que en palabras del arquitecto manizalita “se puede empezar a hablar de la ingeniería de la Guadua”.

En Diciembre de 1998 se constituye la Sociedad Colombiana del Bambú en Montenegro Quindío y hoy con más de 50 socios repartidos por toda Colombia y en conjunto con universidades, corporaciones y organizaciones no gubernamentales se han comprometido con este recurso promoviendo su cultivo, estudio, preservación, industrialización, etc siendo algunos logros la admisión de Colombia al INBAR, la creación del Comité Colombiano para la Normalización del Bambú-Guadua CCNG y diversos proyectos de Aprendizaje como cursos y seminarios. El SENA, Cenicafé, la CRQ, La UTP son solo algunas de las organizaciones que han incentivado el uso de la Guadua



Figura 5 Instituciones interesadas en la Guadua en Colombia

Decenas de investigaciones se encuentran en las universidades colombianas que sin embargo han sido iniciativas individuales y aisladas con metodologías diversas y poco rigurosas y que no conducen a valores de diseño concluyentes. Es por esto que del 27 de Septiembre hasta el 2 de Octubre de 2004 se realizará en Pereira El Simposio Latinoamericano sobre Guadua 2004 cuyo principal objetivo será la presentación de las investigaciones más recientes y actualizadas sobre Guadua y la culminación del “Proyecto Guadua-Bamboo” financiado por la Unión europea y con la participación de las universidades de Freiburg en Alemania, El Imperial Collage en Inglaterra, CATIE en Costa Rica, la Universidad de Costa Rica UCR y la Facultad de Ciencias Ambientales de Universidad Tecnológica de Pereira. En el marco de este proyecto se realizaron varios estudios de Doctorado y Maestría.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Tomado de la página web de la INBAR <http://www.inbar.int/spanish/news51.htm>

## 3.2 PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS

En la Guadua estas propiedades además de obedecer a la especie botánica a la que pertenecen también dependen de la edad de corte, la sección del culmo que se utilice, la humedad, secciones geométricas y muchas otras más.

La academia aunque se ha preocupado por realizar investigaciones sobre este tema y existe una metodología presente como es la que nos enseña la INBAR y por que no el Manual de Diseño de Maderas del Grupo Andino no se han podido precisar unos valores a tomar por ser sistemas de otros países o de otros materiales (La Guadua puede caer dentro de dos grupos diferentes de maderas). A continuación se presentan las propiedades físicas encontradas con Guadua de Santander y las propiedades mecánicas encontradas en tesis realizadas en la Universidad Nacional de Bogota con Guadua del eje cafetero

### 3.2.1 Propiedades Físicas

- *Contenido de Humedad* : En maderas existen 3 formas de contener agua. El Agua Libre que se encuentra llenando las cavidades celulares y el Agua Higroscópica que se halla contenida en las paredes celulares y son las que primero se evaporan en el momento de secado natural. El Agua de Constitución que se encuentra formando parte integrante de la estructura molecular solo se pierde por combustión del material. Según la cantidad de agua presente en la madera se puede presentar, entonces, tres estados: Verde si ha perdido parte del agua libre, Seca si ha perdido toda la libre y parte del agua higroscópica y Anhidra si ha perdido toda el agua libre e higroscópica.

El contenido de humedad, entonces, está dada por la fórmula  $CH\% = [W_{\text{humedo}} - W_{\text{anhidro}}] \times 100\% / W_{\text{anhidro}}$ , donde el peso anhidro es conseguido mediante el uso de un horno a más 100° C hasta que su valor sea constante.

Cuando la madera ha perdido toda el agua libre se dice que se encuentra en el Punto de Saturación de las Fibras PSF y cuando comienza a perder parte del agua higroscópica y alcanza un equilibrio con la humedad relativa del aire se conoce como Contenido de Humedad de Equilibrio CHE. El PSF varía de 25 a 35% y cuando el CH es menor que el PSF la madera sufre cambios dimensionales y mecánicas.<sup>16</sup> El contenido óptimo para uso estructural es menor a 25%, máximo permisible del 30%. En probetas con nodo intermedio

---

<sup>16</sup> Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino, Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984

se encontraron humedades de 25% para cepas y 20% para basas y sin nudo para cepas de 26 % y basas de 22%.<sup>17</sup>

- *Densidad* : Es la relación que existe entre la masa y el volumen de un elemento y que para el sistema métrico la masa se toma como el peso del elemento. Se pueden distinguir cuatro densidades: Densidad Verde (DV) que es la relación entre el peso verde y el volumen verde con valores de 0.94 gr./cm<sup>3</sup>, Densidad Seca al Aire (DSA) que se calcula con el peso y volumen secos al aire y sirve para calcular el peso propio de los elementos (carga muerta) con un valor promedio de 0.8 gr./cm<sup>3</sup>, la Densidad Anhidra (DA) se halla con el peso y volumen seco al horno; 0.7 gr./cm<sup>3</sup> y la Densidad Básica (DB) que es la relación entre el peso seco al horno y el volumen verde con variaciones insignificantes entre especies importante para la clasificación del material con valores entre 0.54 y 0.63 gr./cm<sup>3</sup>.<sup>18</sup>

### 3.2.2 Propiedades Mecánicas

El siguiente es un extracto de la exposición que realizó la profesora Caori Takeuchi sobre diversas tesis que tuvo a su cargo en la Universidad Nacional de Colombia en uno de los seminarios asistidos por este autor.<sup>19</sup>

La Guadua posee fibras longitudinales con una alta resistencia a la tracción. Se ha llegado a encontrar en ensayos<sup>20</sup> de latas de Guadua de la pared externa sin nudos, una resistencia a la tracción promedio de 2561 Kg./cm<sup>2</sup>; resistencia bastante alta si se tiene en cuenta que el acero A36 tiene un esfuerzo de fluencia de 2530 Kg./cm<sup>2</sup>; por esta razón se conoce a la Guadua como el acero vegetal. En el mismo estudio, se encontró una resistencia a la tracción promedio en fibra externa con nudo de 1647 Kg./cm<sup>2</sup>, en fibra completa sin nudo de 1562 Kg./cm<sup>2</sup> y en fibra completa con nudo de 873 Kg./cm<sup>2</sup>. La resistencia a la tracción en la pared externa es más alta que en pared completa, ya que la primera contiene incrustaciones de sílice, lignina y cutina además de una mayor cantidad de fibras que en su parte interna.

La resistencia a la tracción en latas con nudo es menor que sin nudo, debido a que el nudo es la parte débil de la Guadua, aspecto tenido en cuenta en el parágrafo 8.5.2. de la

---

<sup>17</sup> GABRIELLE, Op. Cit., Pág. 101

<sup>18</sup> Ibid., Pág. 139

<sup>19</sup> Comportamiento Estructural de la Guadua Angustifolia, Uniones En Guadua, Ing. Caori Takeuchi, Profesora Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia. Seminario "Arquitectura e ingeniería de la Guadua", Bogotá 18-19 de abril de 2003

<sup>20</sup> CARVAJAL, Willian N., ORTEGON, William O. Y ROMERO, Carlos J. Elementos estructurales en bambú. Bogotá, 1981. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

propuesta de normas internacionales para ensayos del bambú, en el que se especifica que las probetas para el ensayo a tracción paralelo a las fibras debe tener un nudo.

La Guadua tiene una sección transversal circular hueca con un diámetro promedio de 7 a 15 cm. y espesor de pared de 0.9 a 1.2 cm. Al tener esa sección transversal, tiene una gran inercia con respecto a su área. Por tanto, para elementos de Guadua solicitados a compresión con longitudes hasta de 3 m, la relación de esbeltez con respecto a cualquier eje que pase por su centro no es muy grande. Por ser un elemento cerrado de gran inercia, al estar solicitado a flexión, no tiene problemas de inestabilidad por pandeo flexo-torsional. Igualmente, por tener una sección transversal tubular, la Guadua es altamente resistente a la torsión, es por esto que los cordones superior e inferior de algunas armaduras con uniones excéntricas de diagonales, no fallan por esta sollicitación. Sin embargo a pesar de todas las ventajas en el uso de la Guadua como material estructural solicitado a tracción paralela a sus fibras, compresión, flexión y torsión mencionadas anteriormente, no hay que olvidar que la Guadua por su misma naturaleza, no es un material homogéneo con comportamiento isotópico.

La Guadua está formada por fibras longitudinales fuertes, pero a diferencia de la madera no tiene fibras radiales que unan las fibras longitudinales, las cuales están simplemente pegadas por pectina en una matriz de lignina relativamente débil y blanda lo que hace que la resistencia a la tracción perpendicular de la Guadua sea muy pequeña. Esta pobre resistencia a la tracción limita la resistencia a la compresión



Foto 16 Falla por compresión paralela a las fibras

paralela a las fibras en columnas cortas porque al aplicar la fuerza vertical, se presenta una fuerza radial horizontal (poisson) hacia afuera que separa las fibras debido a que no existe un mecanismo lo suficientemente fuerte que las mantenga unidas. Por la anterior razón, la resistencia a la compresión paralela a las fibras es menor que la resistencia a la tracción de la Guadua aún considerando fibra completa y nudo. En su estudio Martín y Mateus<sup>21</sup> encontraron esfuerzos máximos a compresión paralela a la fibra de 662 Kg./cm<sup>2</sup>, para una humedad del 12% y una edad comprendida entre 3 y 5 años, López y Silva<sup>22</sup> encontraron valores promedio de esfuerzos últimos en columnas cortas de 438 Kg./cm<sup>2</sup> y mínimos de 280

<sup>21</sup> MARTÍN, J y MATEUS, L . Determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra de guadua de castilla. Bogotá, 1981. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

<sup>22</sup> LOPEZ, L y SILVA, M Comportamiento sismorresistente de estructuras en bahareque. Manizales, 2000. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

Kg./cm<sup>2</sup>, Martínez Cáceres<sup>23</sup> encontró valores de esfuerzos últimos de 343 Kg./cm<sup>2</sup> y Uribe y Durán valores promedio de esfuerzos últimos de 504 Kg./cm<sup>2</sup>, mínimos de 376 Kg./cm<sup>2</sup> y máximos de 618 Kg./cm<sup>2</sup>.

También la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras (aplastamiento) es muy baja, Martínez Cáceres encontró valores de esfuerzos últimos en Guadua Macana de apenas 23 Kg./cm<sup>2</sup>. Cuando el elemento trabaja a compresión perpendicular a las fibras, el comportamiento mejora si se le da un confinamiento a la Guadua. Este confinamiento restringe en alguna medida la deformación lateral. Sánchez y Prieto encontraron en ensayos con dispositivos de carga y apoyo circulares que la carga última promedio aumentó con respecto a la utilización de dispositivos de carga y apoyo plano



Foto 17 Falla por compresión perpendicular a las fibras

La resistencia al corte paralelo a las fibras, es baja. En el trabajo de Clavijo y Trujillo<sup>24</sup> en ensayos de rasgamiento con tornillo donde hubo dos planos de falla, se encontró un esfuerzo cortante promedio de 42 Kg./cm<sup>2</sup>; López y Silva encontraron en ensayos de corte directo un valor mínimo de 43 Kg./cm<sup>2</sup> y un valor promedio de 69 Kg./cm<sup>2</sup> y Sánchez y Prieto encontraron valores de esfuerzo al 0.05 de 47 Kg./cm<sup>2</sup> al calcular el esfuerzo cortante en vigas cortas con longitudes menores de 1 m, simplemente apoyadas con carga en los tercios. Todos estos valores cercanos entre sí indican que la resistencia al corte no alcanza tampoco la décima parte de la resistencia a tracción en dirección paralela a las fibras.

### 3.3 EMPALMES

Debido a la forma cilíndrica y hueca de la Guadua, al tratar de unir dos elementos, se deben realizar ciertos cortes especiales para que dicha unión sea perfecta y no presente desplazamientos posteriores inclusive cuando no se cargue. Para realizar dichos cortes se requieren de manos artesanales en su construcción ya que la precisión de dichos empalmes se refleja en una buena estabilidad de la estructura. Para uniones en diferente plano no se necesita de empalmes especiales, solo un adecuado anclaje. Los empalmes que se

<sup>23</sup> MARTÍNEZ CACERES, E. Puentes en do mayor. CONGRESO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA.1992

<sup>24</sup> CLAVIJO, S y TRUJILLO, D..Evaluación de uniones a tracción en guadua. 2000. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia

presentan a continuación son para aquellas uniones realizadas en un mismo plano. Las que mas se utilizan a nivel de vivienda por ser las más precisas son solo tres:

### 3.3.1 A Bisel

Utilizada para elementos diagonales que recaen directamente sobre un elemento horizontal y vertical ó elementos ortogonales entre sí que se unen en los extremos.

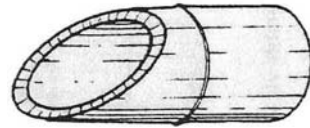


Figura 6 Empalme a Bisel

### 3.3.2 Pico de Flauta

Realizada solo en diagonales y pueden apoyarse ya sea sobre un elemento vertical o uno horizontal o en ambos al mismo tiempo.

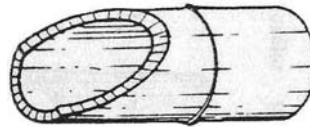


Figura 7 Empalme Pico de Flauta

### 3.3.3 Boca de Pescado

Utilizada en elementos ortogonales entre sí.

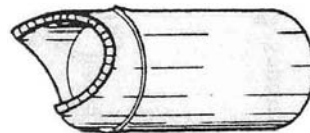


Figura 8 Empalme Boca de Pescado

Los anteriores empalmes se realizan con diferentes herramientas como formón, broca sacabocado, san jose que es un serrucho muy flexible que permite dar cortes curvos, etc. Otras no muy comunes y que aunque se utilizan en obras civiles como canales de riego vivienda, etc. no se aconseja utilizarla en estructuras que estén solicitadas a grandes esfuerzos

### 3.3.4 Con Oreja

Empleada solo para soportar vigas de sección transversal rectangular. Cuando la viga supera el diámetro de la columna en Guadua se utiliza entonces solo una oreja o estas son adicionadas de otra Guadua

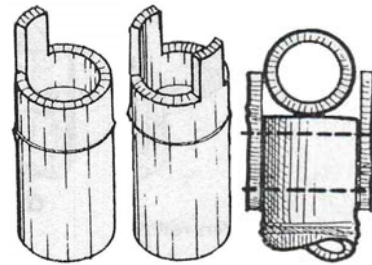


Figura 9 Empalmes con oreja

### 3.3.5 Empalmes Horizontales

Realizados en su mayoría en tuberías para agua. No deben recibir carga alguna.



Figura 10 Empalmes Horizontales

## 3.4 UNIONES

En el viaje realizado al Quindío, se aprecia los diferentes tipo de uniones que el artesano común y el arquitecto experimentado han trabajado hasta el momento y se puede registrar que la clasificación de uniones bien puede ser; más por la geometría que los elementos presentan entre sí que con el tipo de anclaje que utilizan, como se ha venido efectuando en los proyectos de investigación. Lo anterior con el ánimo de empezar con un lenguaje más técnico y claro ya que lo que se quiere con estas investigaciones académicas es el poder aceptar a la Guadua técnicamente dentro de la NSR-98 como elemento único en la construcción con materiales alternativos. En general, de acuerdo a su distribución espacial, las uniones se pueden clasificar en dos grandes grupos, ellas son:

### 3.4.1 En Dos Planos

Son las menos recomendadas ya que hacen trabajar la estructura a momento torsor y esfuerzo cortante perpendicular a las fibras. Su aplicabilidad se encuentra sobre todo en cerchas y pueden tener cargas simétricas o asimétricas. De acuerdo a la configuración que se tiene entre los elementos logran ser:

- *Perpendiculares* : Su aplicabilidad se encuentra en sistemas aporticados de viviendas de más dos pisos. Para cargas altas la mejor forma de reforzarlos es ayudando el elemento con la unión de otro elemento que actúe resistiendo de la misma manera que el primero como se muestra en la fig. 15.

- *Paralelas* : Se usa tanto en columnas como en vigas para darle mayor resistencia al elemento.

- *Diagonales* :Son más comunes en puentes y en andamios aunque también se les ve en techos de vivienda.

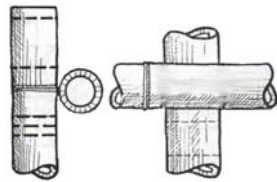


Figura 11 Unión perpendicular en dos planos

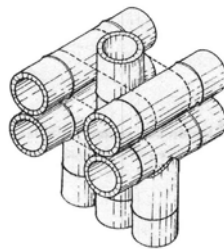


Figura 12 Unión paralela en dos planos



Figura 13 Unión diagonal en dos planos

### 3.4.2 En Un Plano

Son las más utilizadas ya que con ellas la Guadua estará sometida a esfuerzos de tracción y compresión paralelos a fibra.

- *Perpendiculares* :Son las mas utilizadas junto con las diagonales. Se encuentran desde en cerchas hasta en muros así como en pórticos, puentes, artesanías etc.

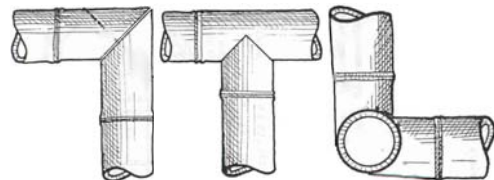


Figura 14 Uniones perpendiculares en un plano

- *Paralelas y diagonales* :



Figura 15  
Unión Paralela  
en un plano

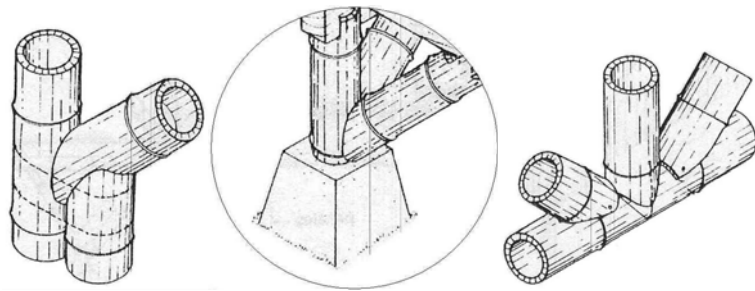


Figura 16 Uniones Diagonales en un plano

### 3.5 ANCLAJES

La Guadua nos ofrece múltiples bondades: conservacionistas, artesanales, ecológicas, agroindustriales, económicas, arquitectónicas y es esta última la de mayor importancia y la que trasciende en esta investigación. Su uso en la arquitectura se debe a su resistencia, versatilidad, fácil manejo, calidades físico-mecánicas y durabilidad (si se sabe manipular). Y aunque es su uso en la construcción de viviendas la que la ha hecho importante es precisamente en ella, donde encontramos la mayor dificultad para trabajarla debido al anclaje de las uniones.

Por su forma hueca y cilíndrica no es posible emplear los mismos sistemas de anclaje que se manejan en la madera como es el uso de clavos y tornillos. Además, esta práctica es limitada en la Guadua ya que su tendencia al clavarlos es la de rajarse perdiendo su poder de agarre. Aunque este problema es fácil de superar si se pretaladra los orificios, por los cambios de humedad, puede generar con el tiempo rajaduras a partir de ellos ya sea por que son muy grandes o que al clavarlos penetraron muy precisos produciendo una separación entre fibras y creando pequeñas fisuras.

A continuación se presentan las formas más usuales que se han venido utilizando para el anclaje de elementos de Guadua:

### 3.5.1 Anclajes Poco Resistentes

El arquitecto Oscar Hidalgo recopiló en su libro<sup>25</sup> ciertos anclajes para uniones que no pueden estar sometidas a grandes esfuerzos ya que por los amarres que se utilizan solo impiden que el material se desplace a pequeñas cargas, la mayoría verticales y no garantizan que la Guadua trabaje por sí misma en caso de sismos.

Las formas más usuales que el arquitecto ilustra para fijar las uniones es por medio de amarres, utilizando para ello, alambre galvanizado, cuerdas de nylon o de cualquier otro material durable y resistente.

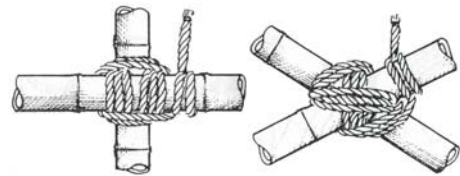


Figura 17 Unión en dos planos anclados con cuerda

Los amarres en alambre deben ser duplicados o triplicados y las cuerdas de nylon de diámetro apropiado y en buen estado. También son utilizados elementos como la Guadua misma o tarugos de macana (madera muy resistente).

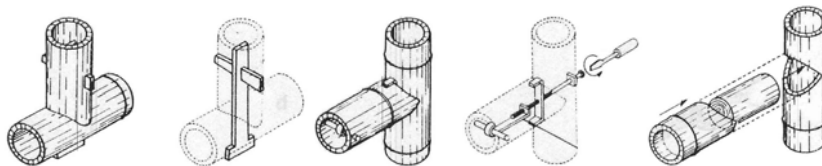


Figura 18 Uniones perpendiculares en un plano con anclajes metálicos y de madera

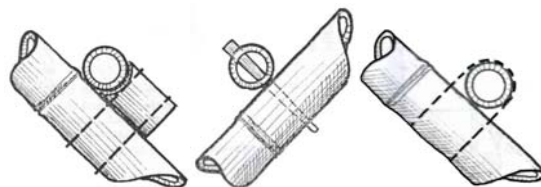


Figura 19 Uniones en dos planos con anclaje en alambre y tarugo de madera

<sup>25</sup> HIDALGO Oscar. Bambú su cultivo y aplicaciones en construcción arquitectura ingeniería artesanía. Cali 1974. Estudios Técnicos Colombianos Ltda

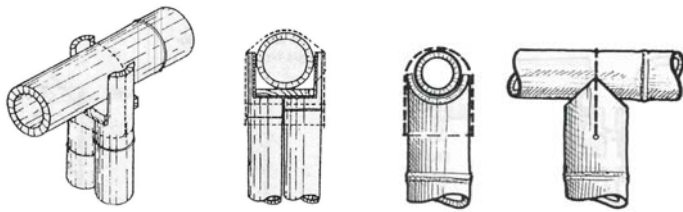


Figura 20 Uniones en un plano con anclaje de alambre y Guadua

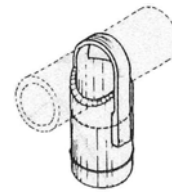


Figura 21 Unión en un plano anclada con la misma Guadua

### 3.5.2 Anclajes Resistentes a Tracción

Como se plantea en el tema de propiedades mecánicas, la Guadua responde muy bien frente a diversas sollicitaciones. Pero es en los esfuerzos axiales que mejor le va. Es por eso que cuando se desea modelar una estructura en Guadua, el planteamiento que se utiliza es el de emplearla como una armadura. Esto quiere decir que en los extremos del modelo o en las uniones de la estructura, se liberan de todo momento y/o torque para que sus elementos trabajen netamente a tracción y compresión sin ninguna flexión.

- *Anclaje con mortero:* A través de una larga comprobación práctica, trabajando con conocimientos básicos del material y a modo de ensayo y error el arquitecto Simón Vélez logra encontrar la forma de conectar adecuadamente elementos en Guadua mediante el uso del mortero y tornillos. Se han logrado algunas variantes pero el criterio es casi siempre el mismo. Una varilla roscada casi siempre de 1/2" atravesando más de 1 canuto en donde estos siempre se encuentran rellenos de mortero. El mortero transmite a la Guadua una presión en forma de pistón a los tabiques, que son los encargados de resistir el esfuerzo de tracción.

Una variante de este anclaje ha sido el de cambiar las tuercas, encargadas de aumentar el área resistida en el mortero, por unos pernos transversales encargados de transmitir el

esfuerzo de tracción a las paredes de la Guadua. El mortero que se utiliza para rellenar los cañutos es de relación 1:3 y debe ser lo suficiente fluido para poderlos embeber a través de un hueco con diámetro no menor de 2 cm. Las varillas son roscadas de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro grado 2 que son comercialmente las más económicas.

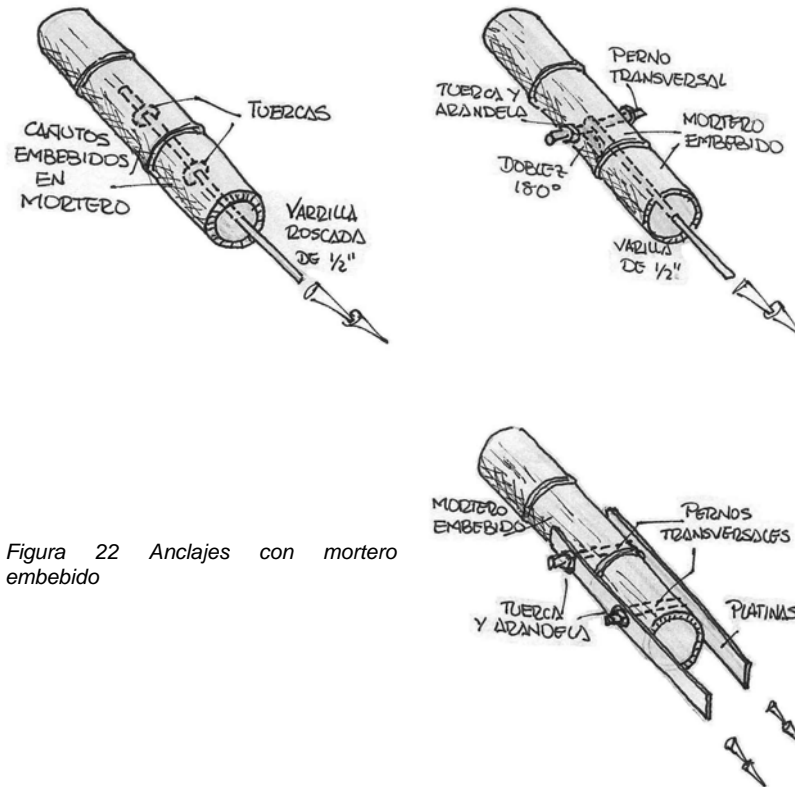


Figura 22 Anclajes con mortero embebido

Ante la importancia de esta unión, la estudiante Jenny Garzón<sup>26</sup> desarrolló en su monografía la respuesta del material frente a este tipo de anclaje. En su investigación se realizan pruebas utilizando pasadores axiales con tuercas y platinas externas con pasadores transversales rellenando 2 y 3 cañutos con mortero.

En las probetas con *tornillo axial* toda la respuesta a la sollicitación de carga la procura el diafragma ya que debido a la contracción del fraguado, la fricción que se genera entre el

<sup>26</sup> GARZÓN Jenny. Trabajo Estructural de Uniones a Tracción. Bogotá 1996. Universidad Nacional de Colombia. Monografía para optar el título de Arquitecto.

mortero y la pared interna de la Guadua es despreciable. Cuando se rellenaron dos cañutos las cargas de rotura variaron entre 4.000 Kg. y 4.800 Kg. En las probetas *con pasadores* las platinas son las encargadas de transmitir los esfuerzos a los pasadores y al mortero que a su vez lo transmitirán a los tabiques y a la pared de la Guadua respectivamente.

Para las probetas que se rellenaron solo 2 cañutos las cargas de rotura estuvieron entre 5.8 y 10.0 ton. Para la que se les relleno 3 entrenudos la carga de falla oscilaron entre 9.800 Kg. y 13.500 Kg.

Es indudable que la resistencia resulta proporcional al número de entrenudos rellenos de mortero, en donde aquellas con pasadores tienen mayor resistencia que las uniones con tornillo longitudinal, pero a costa de más del doble de aumento en toda la estructura.

- *Anclaje mecánico* : Los estudiante Cesar Peña y Hugo Rodríguez<sup>27</sup> realizaron varias propuestas en las cuales utilizan la pared de la Guadua como factor principal para resistir los esfuerzos cuando el elemento es solicitado a tracción.

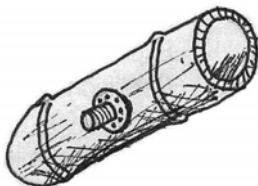


Figura 23 Propuesta de anclaje metálico

Después de varios diseños, la propuesta final consiste en una lámina circular calibre 18 de diámetro 5 cm. que será la encargada de aportarle rigidez a las paredes de la Guadua la cual se encuentra conectada a ella mediante puntillas de acero de 1" y 1/8" de diámetro como elementos de anclaje. Como elemento transmisor se aumentó el diámetro del perno a 5/8". Se hicieron varias probetas modificando el número de clavos que anclaban la lámina a la guadua y la que mejor respondió fue la de 8 clavos por lámina con un rango de falla de 4.30 – 5.24 ton y desplazamiento de la lámina de 5-9 mm.

La curvatura de este tipo de conector permite que se adapte fácilmente a la Guadua y es de fácil industrialización aunque la manera de transmitir el esfuerzo entre uno y otro elemento deber ser exteriormente, es decir, se debe tomar la varilla de 5/8" en sus extremos y no internamente como se puede hacer con el anclaje de mortero. Sin embargo su construcción es fácil de realizar así como su montaje, además que la mano de obra no tiene que ser calificada. En cuanto a las uniones; se pueden cargar inmediatamente y no aumenta el peso

<sup>27</sup> PEÑA Cesar y RODRÍGUEZ Hugo. Propuesta De Uniones Mecánicas Para Estructuras De Guadua. Bogotá 1997. Universidad Nacional de Colombia. Monografía para optar el título de Arquitecto.

final de la estructura. El poco costo que tiene realizarla la hace una alternativa viable para la construcción de estructuras solicitadas a esfuerzos moderados de tracción.

- *Anclaje tipo abrazadera* : "...resistencias a corte, compresión y tracción perpendicular a la fibra... son las que limitan la resistencia del bambú cuando se usa a flexión y compresión paralela a la fibra y dificultan su uso a tracción paralela, ...la raíz de este problema radica en la estructura del bambú. A diferencia de la madera, que tiene fibras radiales, que hacen que el conjunto de fibras formen una unión soportando mejor el cortante, en el bambú todas las fibras son longitudinales y están pegadas por pectina... a nivel microscópico se presenta en la pared celular una estructura compuesta, constituida por fuertes y rígidas micro fibrillas de celulosa en una matriz de lignina relativamente débil y blanda." <sup>28</sup> La Guadua, entonces es como un cilindro cuyas paredes están conformadas por una serie de fibras longitudinales paralelas entre sí altamente resistentes cada una pero embebidas en una matriz débil. Luego si se desea unir dos de estos cilindros la forma ideal sería amarrar cada una de estas fibras de un cilindro con las otras fibras del otro cilindro. El arreglar las fibras de la Guadua entre uno y otro elemento introduciendo pequeños dispositivos (clavos) en la pared de la misma hace que se ejerza una presión sobre las fibras, haciendo que trabaje toda la pared del material y pueda dar toda su resistencia.

Los estudiantes David Trujillo y Sandra Clavijo<sup>29</sup> realizaron unas pruebas preliminares para determinar el tamaño óptimo de estos elementos conectores que finalmente son los que producen el cortante en la pared de la Guadua y hacen fallar la unión.

1. *Comportamiento de la Guadua según diámetro y conector usado* : Se realizó con el propósito de establecer que conector y diámetro presentaban el mejor comportamiento. Se ensayaron tornillos de 1/2", de 3/8" y de 1/4" así como puntillas de acero de 3.5 mm. de diámetro y tarugos de cedro macho con diámetro de 1 cm. La distancia al borde fue constante (8 cm.) y los orificios pretaladrados. Se observó una tendencia de que a menor diámetro menor era la carga resistida pero mayor el esfuerzo (1/4"= 685

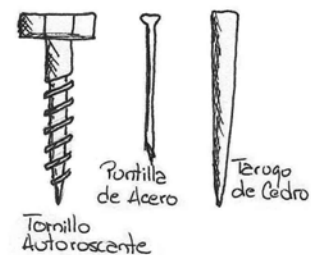


Figura 24 Elementos conectores

<sup>28</sup> JANSSEN, Jules. The Mechanical Properties of Bamboo Used In Construction en Bamboo Research in Asia. Giles and Amy Choninard. Singapur, 1980

<sup>29</sup> CLAVIJO Sandra y TRUJILLO David. Evaluación De Uniones A Tracción En Guadua. Bogotá 2000. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Grado (Ing. Civil)

Kg/cm<sup>2</sup>, 3/8"= 630 Kg/cm<sup>2</sup>, 1/2"= 570 Kg/cm<sup>2</sup>). También se observó que al utilizar tornillos de diámetro grande se producía fallas en dos planos. Cabe anotar que el tornillo de 1/2" dobla en costo al de 1/4" sin obtener el doble de resistencia.

2. *Distancia al borde* : Estas distancias se establecieron según las recomendaciones de distancias mínimas al borde del Manual de Maderas<sup>30</sup> tomadas desde el eje del conector hasta el borde de la probeta. En los tornillos de 1/4", que fueron los que obtuvieron un mejor comportamiento en la prueba anterior tuvieron una presión de contacto de: 7D= 639 Kg./cm<sup>2</sup>, 10D= 776 Kg./cm<sup>2</sup>, 15D= 777 Kg./cm<sup>2</sup>, donde D es el  $\phi$  del tornillo.

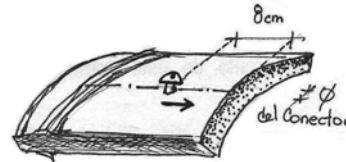


Figura 25 Probeta para analizar la distancia al borde

3. *Comportamiento de nudos* : Se ensayaron 30 probetas en las cuales la distancia del conector al borde era constante (10 cm.) y se variaba la distancia del nudo al borde para saber si de alguna manera la resistencia variaba. Las presiones de contacto fueron: nudo a 1/3 del borde = 775 Kg/cm<sup>2</sup>, a 2/3 del borde = 964 Kg/cm<sup>2</sup> y cuando el conector se encuentra en el nudo = 1.242 Kg/cm<sup>2</sup>. Cabe anotar que algunos tornillos fallaban antes que la Guadua.

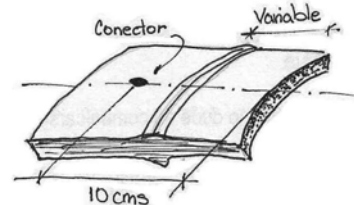


Figura 26 Probeta para analizar la influencia del nudo

Parecida al anclaje tipo mecánico y de acuerdo a los resultados obtenidos por las pruebas preliminares, el diseño de la "unión" escogida consiste en tomar una lámina cold-rolled calibre 22, mucho más delgada y por lo tanto fácil de manejar, de largo 1.<sup>00</sup>-1.<sup>50</sup> m. dependiendo del diámetro de la Guadua con ancho 4-6 cm. y enrollarla al cañuto hasta darle determinadas vueltas. La lámina se sujeta a la Guadua mediante tornillos de 1/4" que fueron los que tuvieron mejores resultados y que al final serán los encargados de evitar el desplazamiento de la unión. Se realizaron variaciones como el número de vueltas o la cantidad de tornillos utilizados.

La propuesta final consta de un anclaje conformado por 4 tornillos atravesando Guadua y lámina y 8 tornillos atravesando solo Guadua para un total de 12 tornillos de 1" x 1/4", una

<sup>30</sup> Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima, 1984. Capítulo 12

lámina de 0.04 x 2.00 m la cual le da 5 vueltas al culmo y un pasador de 5/8" de long según el diámetro de la Guadua.

Resistió cargas de hasta 10 ton pero tomando el perno transversal por su extremos. Al igual que el mecánico, este anclaje tipo abrazadera es liviano, fácil y práctico de realizar. No hay que esperar 28 días para que fragüe el mortero logrando cargar los elementos una vez conectados, además de no necesitar personal calificado para realizarla. La colocación de tornillos por un solo lado de la lámina hace que este tipo de anclaje solo trabaje a tracción y no a compresión.

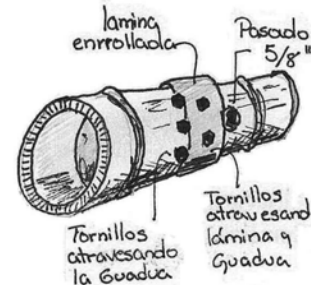


Figura 27 Propuesta de anclaje tipo abrazadera

### 3.5.3 Anclajes Resistentes a Compresión

Cuando se intenta conectar dos elementos de Guadua a los que se les solicita a tracción, la dificultad para conseguir que la estructura permanezca estable es el principal problema que se presenta y es por eso que casi todos los estudios que se han venido realizando en cuanto a uniones, tienen que ver con la resistencia que presenta la Guadua cuando es requerida a este esfuerzo. Para compresión este problema es fácil de sortear por la misma situación. El empalme que hace la misma Guadua entre elementos evita este inconveniente haciendo estable la unión y solo se hace necesario rellenar los elementos con mortero para evitar el aplastamiento sin ningún anclaje especial.

El trabajo de los estudiantes Diego Jaramillo y Giselle Sanclemente<sup>31</sup> es importante ya que tratan de determinar la resistencia última en uniones de Guadua ensayándolas en conjunto y analizando los tipo de falla producidas tanto en tensión como en compresión. Se realizaron tres tipos de uniones de acuerdo al ángulo que formaban sus elementos y para cada una de ellas se les realizó tres tipos de anclaje.

Los anclajes que se construyeron se les denominó tipo "Simón Vélez Modificado" (SVM), Tipo Sandra Clavijo y David Trujillo (CT) y Diego Jaramillo y Giselle Sanclemente (JS) donde esta última es la propuesta que presentan los autores de la investigación. Es importante anotar que este último anclaje fue primero una propuesta de los estudiantes Sandra Clavijo y

<sup>31</sup> JARAMILLO Diego y SANCLEMENTE Giselle. Estudio De Uniones En Guadua Con Angulo De Inclinación Entre Ellos. Bogota, 2003. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Grado (Ing. Civil)

David Trujillo<sup>32</sup> pero por diferentes factores la calificaron como no viable, entre algunos se encuentran la espera de 28 días para el fragüe del mortero, su realización tediosa así como del aumento del peso de la estructura final. La modificación que se le hizo al anclaje propuesto consiste en unir los elementos mediante flejes estándar de 30 cm. y embeber los canutos de mortero y anclarlo a la pared de la Guadua mediante la utilización de clavos distribuidos helicoidalmente a través de toda la pared. Esta misma forma de utilizar los clavos también se utilizó en las probetas SVM.

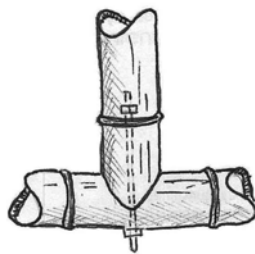


Figura 28 SVM 90°

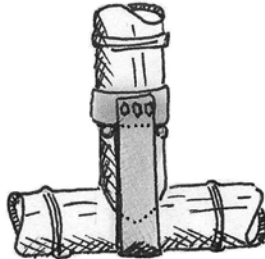


Figura 29 CT 90°

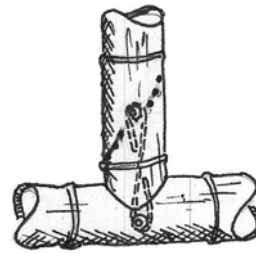


Figura 30 JS 90°

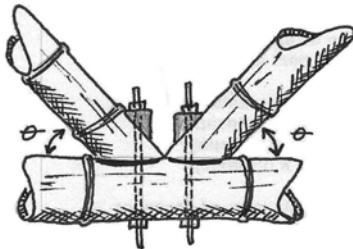


Figura 31 SVM 4° - 60°

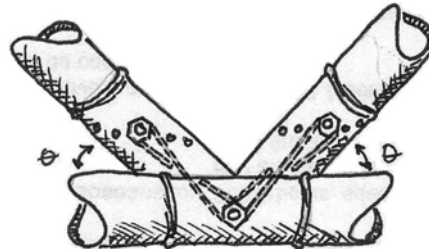


Figura 32 JS 45° - 60°

Para el anclaje de las probetas CT se utilizó lamina cold- rolled en donde claramente se puede ver que para los elementos que estarán sometidos a compresión este tipo de anclaje tal como lo utilizaron es totalmente inútil y toda la resistencia caerá sobre el empalme entre los dos elementos y la resistencia a cortante perpendicular a la fibra que posea la Guadua puesta como cordón inferior

En las uniones con ángulo de inclinación mientras que a un elemento se le solicitaba a tracción el otro lo estaba a compresión. Para el anclaje de SVM se utilizó tacos de neopreno para repartir mejor la presión que ejercería la tuerca al penetrar la Guadua.

<sup>32</sup> CLAVIJO, Op. cit.

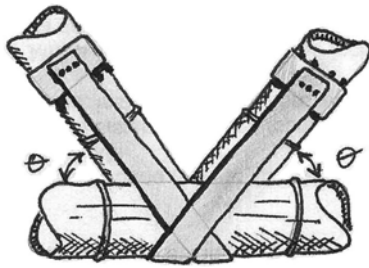


Figura 33 CT 45° - 60°



Foto 18 Doblez especial para las probetas CT con ángulo de inclinación

Angulo	Anclaje	Carga [ Kg.]	
		Rango	Promedio
90°	SVM Compresión	3919 - 5451	4533
	SVM Tensión	1597 - 1878	1757
	CT Compresión	2071 - 2549	2334
	CT Tensión	620 - 671	644
	JS Compresión	6408 - 7602	7024
	JS Tensión	21438 - 29104	24832
60°	SVM Compresión Cordón	1424 - 2433	2168
	SVM Compresión Diagonal	2317 - 4248	2758
	SVM Tensión	532 - 777	627
	CT Compresión Cordón	1049 - 1855	1308
	CT Compresión Diagonal	1237 - 2699	1775
	CT Tensión	777 - 1058	838
	JS Compresión Cordón	3000 - 4204	3821
	JS Compresión Diagonal	4463 - 6746	5944
	JS Tensión	1538 - 1932	1694
45°	SVM Compresión Cordón	1206 - 1861	1538
	SVM Compresión Diagonal	929 - 1895	1226
	SVM Tensión	730 - 1265	948
	JS Compresión Cordón	2643 - 4080	3592
	JS Compresión Diagonal	2229 - 3563	3140
	JS Tensión	1782 - 2627	1943

Tabla 1 Resultados para las diferentes probetas con ángulo de inclinación

En los anteriores valores se aprecia que el anclaje propuesto por Jaramillo y Sanclamente es el que mejor responde a las dos sollicitaciones de esfuerzos axiales. Sin embargo se encuentran los datos dudosos. Cuando se toma la unión de 90° a compresión los anclajes de SVM y JS deben dar el mismo rango de falla ya que la resistencia la dará el cordón inferior por aplastamiento, no obstante la de JS dobla casi en valor a la de SVM. Los bajos resultados del anclaje CT tanto para tensión como para compresión, demuestran que la mala utilización de el puede resultar inútil sabiendo inclusive que es la mejor alternativa por la forma en que pone a trabajar la Guadua y su baja relación beneficio/costo. Otra cuestión está en el anclaje de JS cuyos valores fueron excesivamente grandes para uniones a 90° (24 ton) pero muy modestos cuando presentaban ángulos de 45° y 60° (2-5 ton). Pero el mayor inconveniente, tal vez, está en lo tedioso de su construcción debido a la colocación de los flejes y las desventajas que conllevan la utilización del mortero.

Las fallas presentadas se muestra en las siguientes fotos:



Foto 19 Falla por compresión a 90°



Foto 20 Falla por tensión a 90° para SVM



Foto 22 Por tensión a 90° para CT



Foto 21 Falla por tensión a 90° para JS



Foto 24 Falla por tensión a 45° y 60° para SVM.



Foto 23 Por tensión a 45° y 60° para SVM.



Foto 25 Falla por compresión paralela a las fibras



Foto 26 Falla por fluencia de la lámina

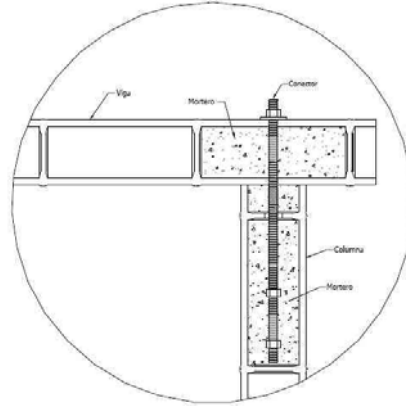
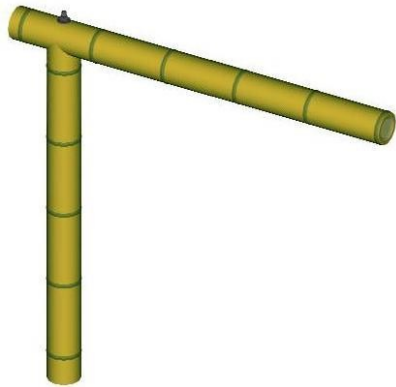
### 3.5.4 Anclajes Resistentes a Momento

Los estudiantes Víctor Camacho e Isduar Páez<sup>33</sup> proponen varios tipos de conexión que puedan estar en capacidad de ser solicitadas a momento flector mediante probetas constituidas por un elemento columna y una viga voladizo con carga puntual en el extremo.

“En el diseño de elementos solicitados a momento flector se debe verificar que la resistencia del elemento sea mayor a la resistencia requerida por las cargas aplicadas y que las deflexiones que se producen permitan el uso satisfactorio del elemento para el fin que fue concebido. Para los elementos de Guadua generalmente se cumple el requisito de resistencia, pero no el de deflexiones...los elementos sometidos a momento flector equilibran el momento externo con un par, producido por las fuerzas internas de compresión y de tensión; es decir que el momento flector se transmite dentro del elemento como fuerzas axiales de compresión y de tensión. Por esta razón, una conexión que restrinja giro debe

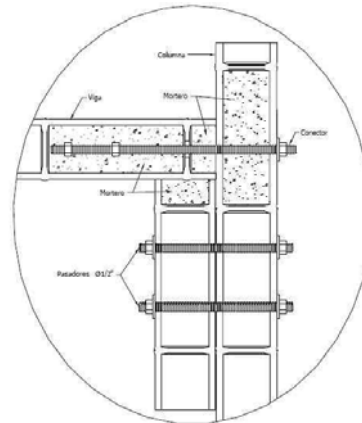
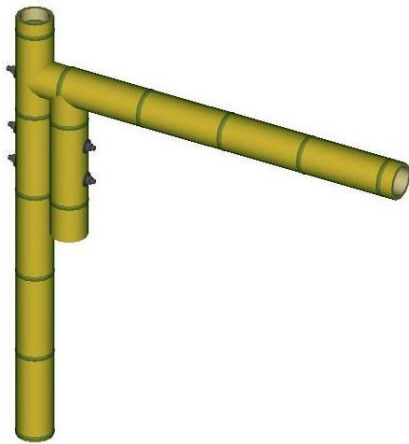
<sup>33</sup> CAMACHO Víctor y PAEZ Isduar. Estudio De Conexiones En Guadua Solicitadas A Momento Flector. Bogotá 2002. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de grado (Ing. Civil)

estar en capacidad de transmitir las fuerzas internas de compresión y de tensión entre los elementos que conecta.<sup>34</sup>



*El momento se transfiere mediante una Fza de tensión en el pasador y una Fza de compresión en la superficie de contacto viga-columna*

*Figura 34 Conexión encontrada resistente a momento "Unión Simón Vélez"*



*El momento se resistirá mediante una Fza de tensión en el pasador de la viga y una Fza de compresión en la superficie de contacto viga retazo. Los pasadores horizontales funcionan como conectores de cortante*

*Figura 35 Conexión propuesta ECMF 2*

<sup>34</sup> Ibid., Pág. 20

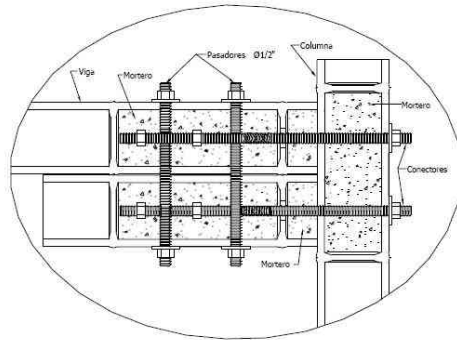
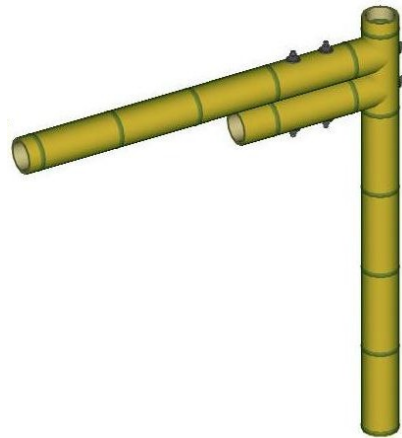


Figura 36 Conexión propuesta ECMF 1



Los pasadores verticales en ECMF 1 funcionan a cortante desarrollando un par de tensión – compresión que a su vez es transmitido a la columna como una Fza de tensión en el pasador superior y de compresión en el pasador inferior y por contacto entre columna y tramo corto

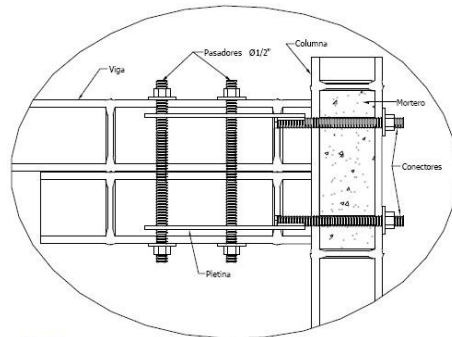


Figura 37 Conexión propuesta ECMF 3

Para ECMF 3 el comportamiento se espera igual que en la conexión ECMF 1 con la diferencia que los cañutos horizontales no se encuentran embebidos en mortero gracias a la utilización de pletinas.

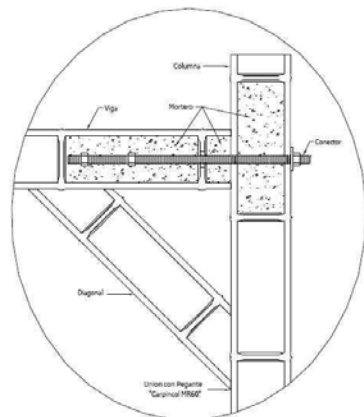
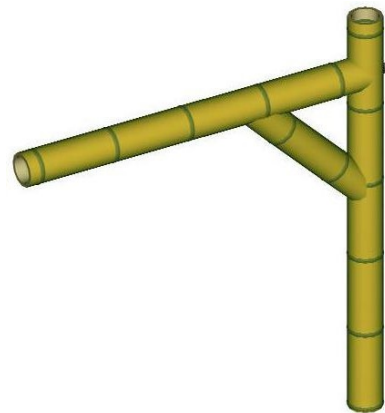


Figura 38 Conexión propuesta ECMF 4



La Fza a tensión en el pasador de de la viga y la Fza de compresión en el codal resistirán el momento flector. Se aplico pegante en las superficies de contacto para restringir el desplazamiento relativo de elementos

El unir elementos de viga y columna empleando únicamente secciones simples, la conexión tiende a desarrollar giros relativos entre elementos; característico de una conexión articulada, no presentaron fallas de tipo destructivo y una vez retirada la carga se recupera casi en su totalidad el estado inicial de deformación

El comportamiento de las conexiones ECMF 1 y ECMF 3 se consideran que es simulado en forma adecuada por los modelos para análisis de doble integración y SAP 2000. El uso de la conexión ECMF 1 aumenta considerablemente el peso de la estructura (3 cañutos rellenos de mortero) casi en un 250% mas que la conexión ECMF 3 y aunque los costos son mayores en la conexión ECMF 3 (10% más), la ECMF 1 genera tiempos muertos ocasionados por el fraguado del mortero.

### 3.5.5 Otros Trabajos Relevantes

- *Comportamiento de conexiones (AIS)* : Debido a que las curadurías y oficinas de planeación no permitían la expedición de permisos para construcciones en Guadua inclusive ante la imprevista demanda en la zona cafetera después del sismo del 99, se hizo necesario un estudio que avalará el sistema de bahareque y por este motivo el FOREC<sup>35</sup> comisiona a la Asociación de Ingeniería Sísmica el estudio del comportamiento de elementos y ensambles de bahareque encementado.

En una primera fase se cubrió ensayos sobre paneles, muros y montajes tridimensionales y después se realizaría los ensayos de las conexiones usuales en la práctica de unir elementos de bahareque ya que la variable de las uniones con elementos en Guadua es de primordial importancia para comprender con precisión el comportamiento de construcciones que la contengan y para sugerir requerimientos mínimos que garanticen su estabilidad.<sup>36</sup>

Se realizó un inventario de tipo de uniones usuales en la construcción con Guadua y en particular con bahareque clasificándolas en las siguientes categorías:

---

<sup>35</sup> FOREC, Fondo para la Reconstrucción y Desarrollo Social de la Región del Eje Cafetero

<sup>36</sup> AIS. Estudio Sobre El Comportamiento De Conexiones Con Guadua. Bogotá, Octubre 2000. Centro de procesamiento de información sísmológica, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

1. Barra Atravesada (Carga asimétrica): Las fibras conectadas de la Guadua se someten a cortante longitudinal asimétrico sufriendo además fuerzas flectoras. Los cañutos atravesados se rellenan de mortero. Se utiliza con frecuencia en la fabricación de elementos de cubierta y pie-derechos de paneles para formar muros de vivienda. La asimetría de la carga produce un giro de la barra que resulta en tensiones concentradas de penetración de la tuerca a través de las paredes de la Guadua. La carga máxima estuvo entre 7 y 10 kN. La concentración de tensiones en el área bajo la arandela produce la falla local del hormigón y permite el hundimiento del perno que a su vez ocasiona una falla por cortante de una franja con la anchura de la arandela. Cuando los extremos de las Guaduas están cerrados por el diafragma del nudo, resulta en cargas últimas mayores con un comportamiento similar de 12 kN

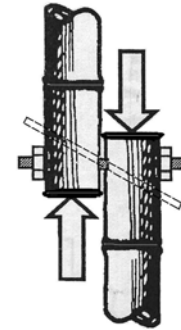


Figura 39 Unión con carga asimétrica

2. Barra Atravesada (Carga simétrica): En este caso las fibras se someten a cortante longitudinal simétrico sin inducir esfuerzo flector. Se utilizan para conectar la solera con el pie derecho, unir paneles y columnas a los cimientos. Cuando la carga es simétrica, la falla se debe a cortante puro en las paredes de la Guadua. El efecto del nudo es notorio aceptando casi el doble de resistencia para aquellas que no tenían nudo en los extremos. Se registraron cargas máximas entre 10 y 20 kN

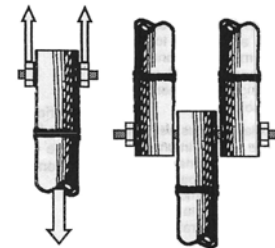


Figura 40 Unión con carga simétrica

3. Conexión en T: El conector en el elemento vertical trabaja a cortante y el conector del elemento horizontal somete a la Guadua a compresión transversal. Como la carga crítica será la tracción sobre el tornillo que intenta forzar la tuerca a través de la pared de la Guadua solo se requirió el tramo horizontal y el tornillo. La falla es muy similar al de las probetas con barra atravesada. Las cargas estuvieron entre 12 y 15 kN.

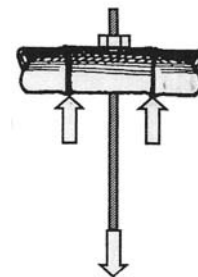


Figura 41 Reacciones en la prueba para la conexión en T

4. Barra Embebida: Se utiliza para unir paneles y columnas con la cubierta. La barra de acero transmite la carga al mortero y este se la transmite a la Guadua. Las cargas verticales transmiten compresión y tracción y las cargas laterales transmiten cortante. Para las primeras el fallarlas con nudo en el extremo aumenta significativamente la

5. capacidad de recibir carga, más de 4 veces que las que no tienen nudo. La adherencia entre la pared de la Guadua y el mortero es muy pobre alcanzando cargas máximas de tan solo 2 kN. Se siguió observando que la carga máxima no es factor del diámetro ni del espesor. Para cargas laterales, tan pronto la fuerza comienza a actuar el perno presiona el mortero tratando de hendirlo. Cuando las tensiones superan la resistencia a la tracción, el mortero se fisura y el perno se mueve. Al moverse produce figuración detrás progresando con el aumento de carga. Si la Guadua no está confinada la fisura es radial y el perno continuará desplazándose prolongando la fisura liberando energía. Si la Guadua está confinada el perno continuará cargándose de energía de corte, sin encontrar modo de disiparla, hasta que falla súbitamente de manera explosiva. Carga soportada 0.5-2 kN

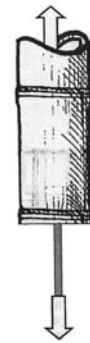


Figura 42 Barra embebida a tracción

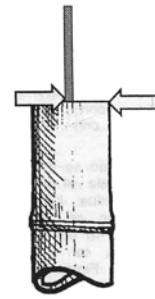


Figura 43 Barra embebida a cortante

6. Para ilustrar el efecto de puntillas, se ensayaron conexiones clavadas ya que muchos artesanos y constructores utilizan este tipo de uniones. Se ensayó un nudo constituido por una conexión en T con Guadua clavadas y otro constituido por un codo. El nudo clavado se ensayó a tracción paralela al elemento vertical de Guadua y el codo se sometió a momento flector para determinar si

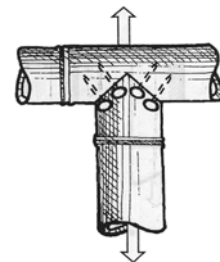


Figura 44 Conexión conectada con clavos

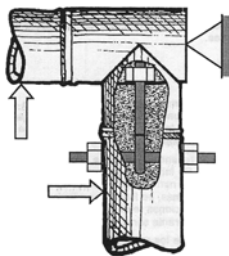


Figura 45 Codo ensamblado

su comportamiento se asimila a una articulación o si exhibe mayor rigidez. Las cargas resistidas en los ensambles fueron también muy bajas. En la unión clavada no resistió carga significativa y de inmediato se separaron sus partes. En el codo la poca capacidad se logró a costo de grandes deformaciones aunque sus conectores fueran pernos embebidos en mortero. Actuaron como articulaciones con cargas resistidas entre 0.7-1.2 kN y deformaciones de 80

mm.

Para complementar la información obtenida se construyeron marcos con y sin diagonal de 1 x 2 m y se ensayaron en el SER<sup>37</sup> bajo carga lateral puntual. Tres probetas con diagonal resistieron cargas últimas de 8.6, 8.0 y 5.6 kN con deformaciones máximas de 53, 44 y 66 mm. Los marcos sin diagonal se deformaron sin tomar carga significativa. La rigidez de los marcos dependen en gran medida del ajuste de las piezas de Guadua entre sí. Pequeñas holguras pueden representar grandes diferencias en comportamiento.

Las conexiones más robustas son aquellas que presenta pernos atravesados, con cañutos rellenos y encerrados por nudos en ambos extremos.

- *Armaduras en Guadua* : En este proyecto se analizan algunas características de las armaduras en Guadua utilizando modelos con la misma geometría, con diferentes tipos de unión, sometidos a cargas aplicadas puntualmente en los nudos interiores de sus respectivos cordones superiores, con el fin de obtener ordenes de magnitud para cargas de servicio y deflexiones admisibles. Los realizadores de este proyecto fueron los estudiantes Juan Gutiérrez y Raúl Gómez como requisito para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Colombia<sup>38</sup> el cual consistió en proyectar 6 armaduras tipo Warren Invertido en Guadua como parte de la superestructura de un puente peatonal, con una luz de diseño de 5 m, un ancho de calzada de 2 m. El número de armaduras soportantes serán 3 cada una con un área aferente de 0.66 x 5.00 m<sup>2</sup>.

Para la elaboración de las armaduras tipo Warren Invertido se vinculó en la construcción los siguientes tipos de uniones:



Foto 27 Armadura tipo

---

<sup>37</sup> SER, Sistema Espacial De Reacción en el cual se encuentran apoyados los actuadores hidráulicos o prensa universal para las pruebas de los marcos. Laboratorio de Estructuras, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

<sup>38</sup> GÓMEZ Raúl y GUTIERREZ Juan. Diseño Y Elaboración A Escala Natural De Armaduras En Guadua Angustifolia. Bogotá 2002. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de grado (Ing. Civil)



Foto 28 Unión en dos planos simétrica con anclaje en mortero y barra atravesada



Foto 29 Unión en dos planos y anclaje tipo mecánico

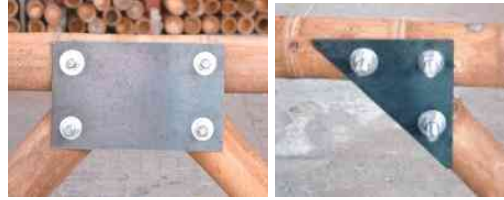


Foto 30 Unión en un solo plano ancladas con pletinas



Foto 31 Unión en dos planos con un anclaje tipo abrazadera



Foto 32 Unión en un plano y anclaje de pernos y mortero



Foto 33 Unión en un plano y anclaje de pernos y mortero

Tabla 2 Relación de las cargas (kgf) y las armaduras en la cual se producen las fallas

MODELO	1	2	3	4	5	6
$\Delta_{MAXIMO}$ (m)	0.17	0.098	0.073	0.056	0.009	0.038
Fisuración inicial	1500	1500	1000	1200	100	800
Rasgadura	-	1800	-	-	-	-
Rajadura	2100	2100	-	2000	200	1300
Ruptura Tabiques	-	-	-	-	-	1500
Expulsión Mortero	-	-	-	-	300	1500
Aplastamiento de Lamina	-	-	1400	-	-	-
Aplastamiento de pletina	-	1600	-	-	-	-
Desgarramiento Tornillos	-	2000	-	-	-	-
Aplastamiento por compresión paralela a la fibra	2300	-	1500	2100	-	-
FALLA	2300	2100	1500	2100	300	1500
Carga falla por pto. de aplicación	1150	1050	750	1050	150	750

1: Armadura con unión tipo Simón Vélez  
 3: Armadura con unión tipo abrazadera  
 5: Armadura con unión tipo anclaje

2: Armadura con unión tipo mecánica modificada  
 4: Armadura con unión tipo pletinas  
 6: Armadura con unión tipo anclaje axial

Se pudo comprobar experimentalmente la elasticidad de la Guadua, ya que al descargar las armaduras se observó la recuperación inmediata de sus deflexiones.

En el caso de las armaduras con excentricidad de sus diagonales, se generan momentos torsores en los elementos de Guadua, y a la vez momentos flectores en los pasadores, lo anterior es provocado por la asimetría del modelo. Se observan que en los elementos sometidos a torsión se puede presentar un retardo en la falla por corte paralelo a la fibra (rajadura).

Ningún elemento de las armaduras fallo por compresión o tensión axial pura, ya que sus esfuerzos máximos en carga de rotura se encuentran muy por debajo de los esfuerzos admisibles obtenidos en investigaciones. La gran mayoría de las fallas se presento por rajadura de la Guadua, lo que quiere decir que fueron inducidas por esfuerzos de corte paralelos a la fibra.

La inyección de mortero en los cañutos que corresponden al punto de aplicación de las cargas perpendiculares y a los apoyos evita la falla local por aplastamiento del canuto en dirección de la sección transversal. Sin embargo las perforaciones taladradas para verter el mortero, inducen una falla por superposición de las fibras en los elementos solicitados a compresión, ya que el presentarse una discontinuidad en el medio de transmisión provoca una concentración de esfuerzos alrededor del orificio.

El tipo de unión mas utilizado en las construcciones existentes es la unión tipo Simón Vélez, sin embargo, al analizar la relación resistencia / peso para cada modelo de armadura, se obtiene que la anteriormente mencionada no es la mas eficiente. La relación resistencia/peso fueron: para la "unión Simón Vélez" 25.2, mecánica modificada 30, tipo abrazadera 21.1, con pletinas 25.6, tipo anclaje 4.6 y con anclaje axial 15.8

## 4 EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA UNIÓN TIPO

### 4.1 PRELIMINARES

Como uno de los objetivos de las investigaciones realizadas por el proyecto Guadua UIS es el fomento de la Guadua en Santander, se pensó desde un principio que el material con que se trabajaría tendría que haberse cultivado en dicha región. Se hizo un reconocimiento de la región tomando en cuenta las condiciones climáticas propicias para su crecimiento pero se notó que la Guadua existente aparte de crecer en forma silvestre, es decir sin ningún control, los guaduales eran demasiado pequeños acabándolos si se llegase a utilizarlos. Se logra gestionar con el entonces alcalde de Aratoca el Sr. Efraín Pedraza el cual posee un guadual en su finca ubicado en dicho municipio lo bastante grande para poderlo aprovechar y como segunda alternativa se contó con material cultivado en el vivero Buenos Aires propiedad de la CDMB localizado en el barrio Nápoles al occidente de Bucaramanga.

#### 4.1.1 Selección-Corte de la Guadua

En los dos cultivos el guadual no fue cultivado por lo que no se puede precisar su edad, cantidad o explotación alguna. Los tallos crecen sin ningún control provocando cambios de dirección en su desarrollo lo que impide encontrar tallos rectos óptimos para su correcto aprovechamiento.



Foto 34 Guadual no tecnificado, Aratoca.

Se encontraron Guaduas secas y sobre-maduras por el mismo mantenimiento que no se ha hecho, además de la extracción de culmos de forma indebida, es decir, no se hace el corte por encima del nudo, pudriéndose el rizoma por acumulación de agua en él y por lo tanto el tallo cortado no genera renuevos. Para la selección de las Guaduas aptas se realizó unos días antes del corte y se buscó que los tallos presentaran manchas blancuzcas indicando su estado de madurez, teniendo prioridad por los más rectos, altos, que no presentaran defectos como rajaduras, huecos.... y cuyos diámetros fueran ideales en su parte basal

(entre  $\phi = 10$  y 13 cm.) . A los tallos seleccionados se les marco con cinta reflectiva debido a que el corte se realizaría en horas de la madrugada. Para el corte se realizó en época de menguante y en las horas de la madrugada como lo indican las tradiciones de los campesinos familiarizados con la Guadua. Este corte se llevo a cabo por todos los autores del proyecto Guadua - UIS. Después de cortadas se hizo el proceso de curado en el mismo cultivo por un tiempo aproximado de mes y medio para luego ser sacada del Guadual.

#### 4.1.2 Transporte y Almacenamiento

Para el transporte de la Guadua se cortó cada tallo en piezas entre 3 y 4 m para su fácil conducción del guadual al transporte así como su acarreo en el mismo camión. A los primeros tres metros de la Guadua (cepa) aunque también se transportó, no se trabajó con ella debido a los diámetros excesivamente grandes. Los siguientes 11 m (basa), la cual es la parte más comercial



Foto 35 Integrantes del Proyecto Guadua – UIS.

fue la que se utilizó para el proyecto. La sobre basa y el varillón se dejaron en el cultivo. La Guadua se almacenó en un lugar fresco que circulara aire y cubierto para que no le diera el Sol directamente. Para este caso se nos habilitó el Laboratorio de Hidráulica y se dejó en este lugar la Guadua parada para que siguiera su proceso de secado y una vez finalizado se prosiguió a cortarla en las medidas de la probetas a ensayar. No se pensó hacerles inmunización ya que las pruebas iban a ser destructivas además del poco tiempo que iban a permanecer almacenadas.

#### 4.1.3 Recolección de Información

En el Departamento de Santander muy poco se sabe de la Guadua, de su importancia y economía que esta puede generar, como en otras regiones. La información que se tiene en la Ciudad es casi nula y se hizo necesario viajar a otras zonas del país en donde ya la Guadua se ha empezado a investigar más a fondo, con el objetivo de comprender más sus características y sus investigaciones.

En Armenia (Quindío) el Ing. David Trujillo, autor de unas de las Tesis en las cuales se basa la unión optimizada propuesta y el cual es profesor de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad del Quindío en la asignatura de Maderas y Guadua, colaboró en gran medida con esta investigación. Se asistió a varios seminarios como es el de “Avances en la Investigación sobre la Guadua” realizado en Pereira en Mayo de 2002 y “Arquitectura e Ingeniería de la Guadua” efectuado en Bogotá en Abril de 2003. Se logró también extractar información de las Tesis que tratan sobre Guadua realizadas en la Universidad Nacional de Bogotá en donde la mayoría son dirigidas por la profesora Caory Takeuchi adscrita al departamento de Ingeniería Civil.

Se obtuvo además un registro fotográfico de construcciones en Guadua para lograr un censo de las uniones más representativas en las edificaciones de dicho material dadas por el Arquitecto Santandereano Janer Mauricio Rodríguez, el compañero de estudio Hernán Darío Herrera, el maestro de obra especializado en construcciones con Guadua Néstor Bustamante y este autor.

## **4.2 DISEÑO DE UNION**

De acuerdo a la información recopilada, aunque son varios los trabajos que tratan de uniones, son pocas las investigaciones que trata de estudiarla en conjunto para conocer su comportamiento para una aplicación real. De la información analizada, solo el de las armaduras realizado por los estudiantes Juan Gutiérrez y Raúl Gómez<sup>39</sup> logran mostrar un comportamiento real para diferentes tipo de uniones y anclajes. Pero los valores que arrojan dichos ensayos se consideran poco confiables ya que para cada tipo de anclaje solo se realizó una sola probeta. El estudio de Diego Jaramillo y Giselle Sanclemente<sup>40</sup> sobre uniones con ángulo de inclinación también logran fallar las uniones en conjunto pero sin ninguna aplicabilidad, además la propuesta que hacen de unión pareciera de difícil construcción (colocación de flejes) y que junto con la utilización de mortero, que hace aumentar el peso de la estructura, descartan la principal ventaja que ofrece la Guadua como es su baja densidad ya que se aumenta el peso de los elementos.

Para el diseño de la unión se escoge como aplicación una solución de vivienda de un solo piso capaz de resistir una fuerza horizontal equivalente a la fuerza sísmica que tendría dicha construcción.

---

<sup>39</sup> GOMEZ, Op. cit.

<sup>40</sup> JARAMILLO, Op. cit.

Debido a sus excelentes propiedades físico mecánicas en comparación a su peso, las cargas verticales, aunque importantes, no son significativas para la estabilidad de la edificación, situación contraria a las fuerzas inerciales.

En la tesis de Hernández y Santos<sup>41</sup> se apreció la gran flexibilidad que presentaron los paneles debido a las uniones que se utilizaron, pues fueron gracias a estas que no se llegó a ningún colapso presentando altas deformaciones frente a cargas muy pequeñas. A raíz de esto, la optimización que se realizará estará pensada en solucionar el aumento de la rigidez de las uniones que tendrá dichos paneles.

#### 4.2.1 Propuestas Preliminares

El tipo de unión que se escoge para optimizar y analizar, la presenta todos los páneces de la solución de vivienda propuesta por el proyecto Guadua – UIS y es una unión en un plano a 90°, esquinera (ver foto 36) en donde ningún elemento es puesto a trabajar a fuerza axiales por su configuración dentro del panel excepto la diagonal.

Como primera modificación que se debe realizar es la configuración de los elementos. Como la sollicitación más importante será la carga horizontal, para que esta unión pueda resistirla satisfactoriamente se debe colocar el elemento horizontal a un costado y no encima del elemento vertical como se puede apreciar en la figura 46.



Foto 36 Unión esquinera utilizada por Jackson y Antonio en su tesis de páneces

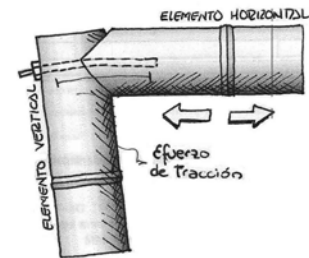


Figura 46 Unión Caso 1.

---

<sup>41</sup> HERNANDEZ, Op. cit.

La razón es que en el caso 1 el conector colocado en el elemento vertical estará en mejores condiciones de resistir una fuerza de tracción a una fuerza de cortante como sucederá en el caso 2 permitiendo grandes desplazamientos y poca rigidez.

Aunque se idealizaron varias propuestas de conexiones, debido al poco material con que resultó, solo se pudo evaluar parte de estas propuestas. El principio fundamental para formular las conexiones preliminares fue el comportamiento que tendría la unión como estabilidad, resistencia, rigidez, etc, y entre los factores con que se contaron para no evaluarlas estuvieron la dificultad de construcción y su costo. Como no se tenía las instalaciones apropiadas para poder valorar la unión en conjunto se planeó evaluar cada elemento por separado teniendo en cuenta el comportamiento que irían a tener al estar conformando la unión y al estar solicitados a la fuerza actuante.

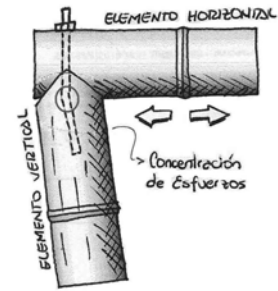


Figura 47 Unión Caso 2.

- *Elemento horizontal* : estará sometido a cortante paralelo a las fibras debido a la fuerza transmitida por el perno del elemento vertical al perno transversal del elemento horizontal. Dicho pasador será una varilla roscada de diámetro de 5/8" grado 2 como mínimo y tendrá una distancia mínima al extremo de la Guadua de 10 veces el diámetro del perno (15 cm.). La conexión entre el elemento horizontal con el vertical se hará mediante varilla roscada interna al elemento horizontal con dobléz de 180° el cual será necesario soldar para que al momento de ejercer la fuerza este no se abra. Se utilizará lámina cold rolled calibre 22 de 1 m de largo x 5 cm. de ancho estándar. La utilización de 1 o 2 pernos como elementos transmisores de la fuerza entre elementos se hace con la idea de distribuir el esfuerzo de cortante que se creará en el pasador transversal del elemento horizontal

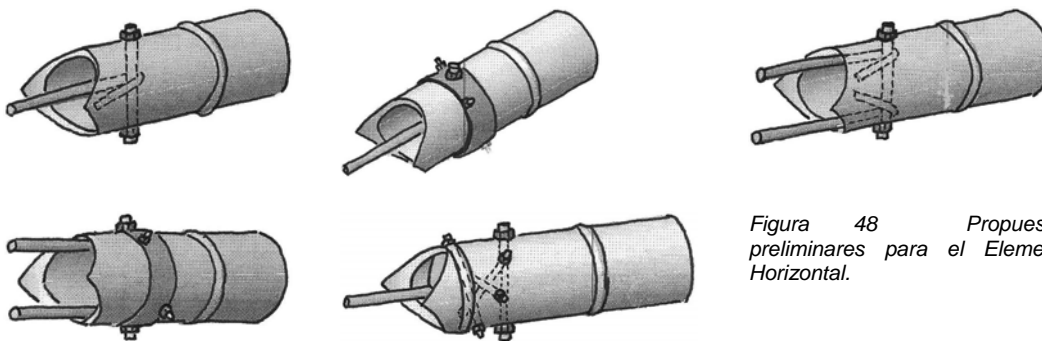
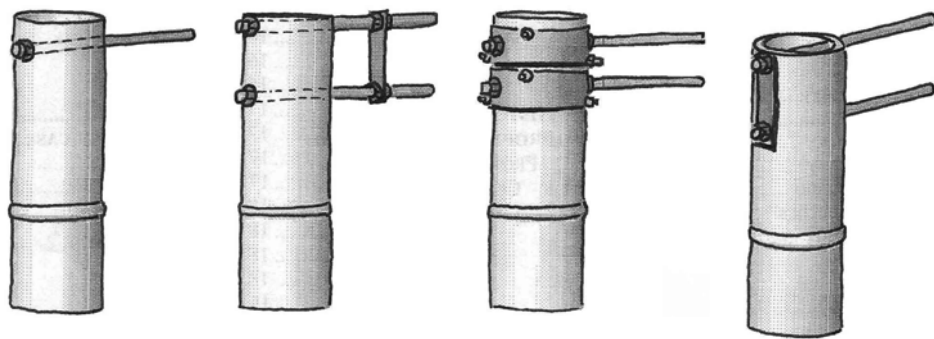


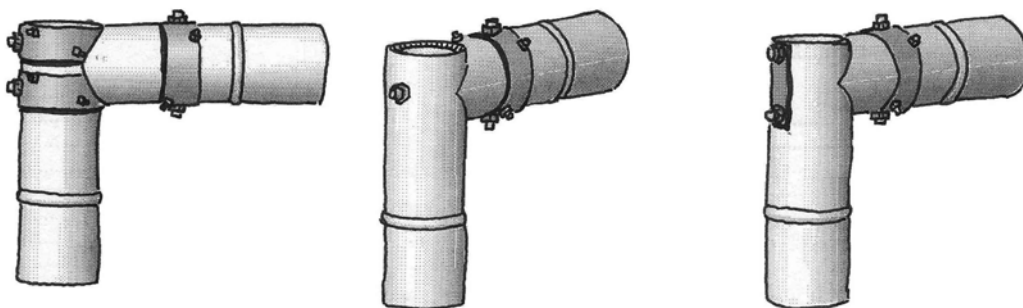
Figura 48 Propuestas preliminares para el Elemento Horizontal.

- *Elemento vertical* : estará sometido a cortante perpendicular a las fibras o aplastamiento debido al efecto que haga el empalme del elemento horizontal sobre la pared del elemento vertical y por el otro lado la tuerca y arandela sobre la pared del elemento vertical. El diámetro mínimo para el elemento conector será una varilla roscada de grado 2 de diámetro  $\frac{1}{2}$ ". Un diámetro menor hará fluir el perno y no la Guadua. También se utilizará lámina cold rolled calibre 22 de 1 m de largo x 5 cm. de ancho y como anclaje clavos de acero de  $\frac{1}{8}$ " x 1" así como la utilización de mortero y tacos de madera y la presencia de nudo o no en el extremo del elemento. .



*Figura 49 Propuestas preliminares para el Elemento Vertical*

Las siguientes figuras muestran como quedaría las uniones ensambladas



*Figura 50 Conexiones resultantes propuestas*

#### 4.2.2 Fuerza Horizontal

La fuerza sísmica de una estructura no es más que una fuerza inercial ocasionada por el peso de la vivienda frente a un movimiento del suelo. Para el cálculo de esa carga muerta se tuvo en cuenta los parámetros de diseño planteados en la Tesis de Herrera y Gabrielle<sup>42</sup> y el procedimiento de cálculo se presenta en la tesis de Hernández y Santos<sup>43</sup>.

El sistema de construcción planteado consiste en paneles de Guadua con una configuración bien definida entre sus elementos, los cuales solo se encuentra recubiertos por una sola cara del panel con un pañete conformado por esterilla, malla y mortero, dejando casi toda la rigidez del sistema al esqueleto en Guadua

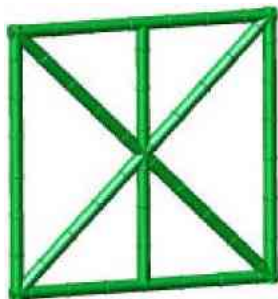


Figura 51 24 Pánel Muro

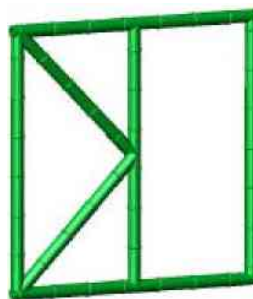


Figura 52 5 Pánel Puerta

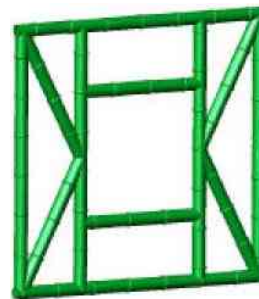


Figura 53 5 Pánel Ventana

Estas rigideces fueron encontradas mediante probetas a escala real de los paneles y son mostradas en el siguiente gráfico en donde se relaciona la fuerza horizontal aplicada (actuante) con su respectiva deformación causada.

---

<sup>42</sup> GABRIELLE, Op. cit. Pág. 101

<sup>43</sup> HERNANDEZ, Op. cit., Pág. 95

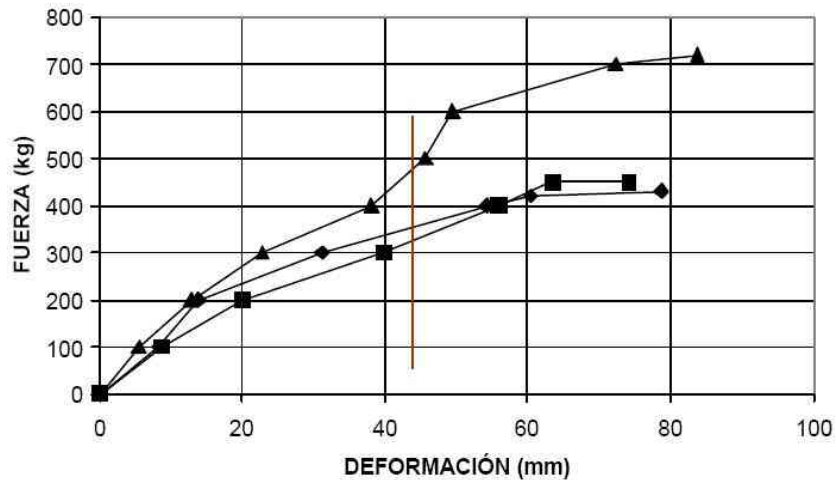


Gráfico 1 Relación Fuerza-Deformación para los 3 tipo de paneles

En la aplicación realizada (vivienda propuesta) se obtuvo un valor de fuerza horizontal equivalente igual a 7.15 ton para toda la estructura. Y de acuerdo a las rigideces obtenidas en las pruebas de paneles, la distribución de esta fuerza sísmica para cada uno de ellos en la dirección más crítica fue la siguiente: panel muro 0.47 ton, panel puerta 0.35 ton y panel ventana 0.32 ton. Las fuerzas axiales en cada panel según las fuerzas actuantes anteriores se calcularon mediante SAP2000 arrojando como las fuerzas más críticas las siguientes:

Panel Muro: tensión 0.20 ton y compresión 0.32 ton. Panel Ventana: tensión 0.35 ton y compresión 0.46. Panel Puerta: tensión 0.35 ton y compresión 0.35 ton, en donde la máxima fuerza que tendrán que resistir las uniones se encuentran en el panel ventana.

Para poder entender lo que está ocurriendo en la estructura se utilizará el método de esfuerzos admisibles el cual logra representar las respuestas de servicio de la estructura en términos de las condiciones del esfuerzo interno generado<sup>44</sup>. Se tendrá, entonces, un factor de seguridad de 3 ya que la guadua por ser un material vegetal así lo amerita además de su heterogeneidad y las pocas pruebas que se realizarán. La fuerza resistente en la unión tendrá un valor aproximado de 1.4 ton

<sup>44</sup> PARKER Harry y AMBROSE James. Diseño Simplificado de Estructuras de Madera. Editorial Limusa, Pág. 15

### 4.2.3 Probetas

Para escoger la propuesta final se efectuaron ensayos preliminares para conocer el comportamiento individual de los elementos que conformaban la conexión. Se les efectuó a cada uno de los elementos por separado las fuerzas a las que estarían sometidos en la unión con solo la Guadua sin ningún anclaje especial. A estas probetas se les denominó EHP para el elemento horizontal y EHV para el elemento vertical. En ambos casos se tomaron probetas con nudo y sin nudo en el extremo.

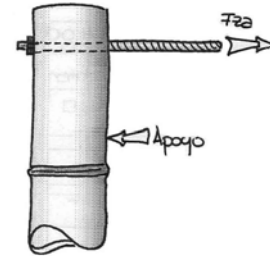


Figura 54 Probeta EVP.

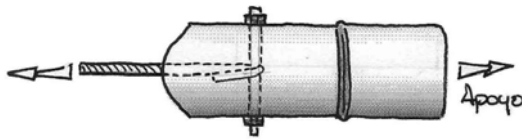


Figura 55 Probeta EHP

Para la fuerza a la cuales estará sometida la conexión se ve que el elemento horizontal podrá resistirla sin ningún anclaje especial ya que la resistencia a corte paralelo a las fibras de la Guadua es más que suficiente si se

tiene una distancia al borde del elemento de por lo menos 15 cm con un perno de 5/8" que le atraviesa y presenta nudo en el extremo. Para el elemento vertical se ve que no es así por el esfuerzo al que estará sometido que es el de corte perpendicular a las fibras o aplastamiento. En ambos casos se buscará aumentar la rigidez en los anclajes en especial para elemento vertical que es el que más desventaja tiene.

Se experimenta entonces para el elemento vertical varias alternativas. Como en las primeras pruebas que se realizaron para dicho elemento se notó que el nudo en el extremo aumentaba su resistencia, para las siguientes probetas se toma el elemento sin nudo por ser la condición más desfavorable.

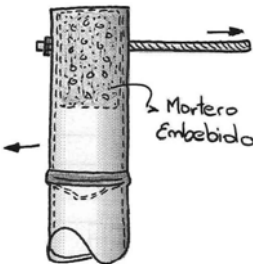


Figura 56 Probeta EVMo

Se realizan entonces probetas con mortero embebido, taco de madera y una mezcla de cemento y viruta buscando que el mortero embebido no haga aumentar el peso de la unión y por consiguiente el de la estructura. Como mecanismo conector para el elemento vertical se tomará tan solo una varilla roscada de 1/2" ya que solo estará sometida a un esfuerzo de tracción por el modo en que se pondrá a trabajar

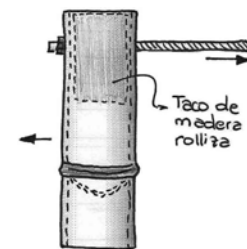


Figura 57 Probeta EVMa

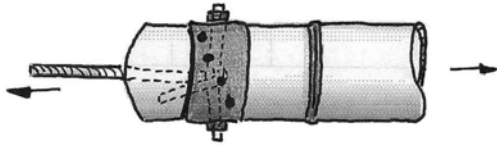


Figura 58 Probeta EHL

Para el elemento horizontal la optimización será una combinación entre las uniones propuestas en las tesis de David Trujillo y Hugo Peña. El anclaje estará dado por una lámina cold rolled calibre 22 encargada de aumentar la resistencia al corte de las paredes de la

Guadua y como elemento transmisores de esa fuerza serán clavos de acero de 1/8" de diámetro por 1" de largo en lugar de tornillo de 1/4". Otra modificación que se realizará será la colocación de todos los conectores (clavos) dentro la lámina de manera que si la sollicitación cambia de dirección la lámina pueda resistirla (tracción y compresión).

Como mecanismo conector para el elemento horizontal se tomará una varilla roscada de 5/8" ya que se necesita la mayor cantidad de área transversal disponible para poder resistir la flexión que estará inducida en el perno debido al anclaje que hará con el conector del elemento vertical.

#### 4.2.4 Mecanismo De Prueba

Para realizar todas las pruebas se utilizó la Máquina Universal de Ensayos marca Trebel ubicada en el Laboratorio de Resistencia de la Escuela de Ingeniería Civil. El espacio disponible para la colocación de las probetas es tan solo de 50 cm. en sentido vertical así que los elementos que se irán a colocar en la máquina solo podrán tener 40 – 45 cm. de longitud teniendo en cuenta los desplazamientos que irán a presentar.

- *Elemento Vertical* : Para la realización de este ensayo se colocaron las probetas en forma horizontal necesitándose un apoyo en un extremo de la Guadua para evitar la rotación de la probeta. Para este fin se recurrió al utilizado en la Tesis de Herrera y Gabrielle para los ensayos de flexión ya que presentaba la curvatura necesaria para que el elemento no fallara por aplastamiento en ese extremo de la Guadua. Para la sujeción de la Guadua se utilizó una guaya fijándola en el cabezal inferior de la maquina de ensayos mediante los accesorios necesarios.

- *Elemento Horizontal* : para la sujeción de la probeta que deberá resistir tracción se le realizó una camisa conformada por un anillo en lámina de acero lo suficiente gruesa y ancha para que esta no fallase la cual estará conectada a la Guadua mediante un tornillo Grado 8 que la atravesará de lado a lado. Para que la Guadua no fallara por ese extremo se le colocó un lámina cold rolled de 10 cm de ancha x 100 de larga como refuerzo a las paredes de la Guadua. Para la propuesta final como la carga resistida iba ser mayor se le colocó doble lámina. Estas iban sujetas a la Guadua mediante tornillo auto roscantes de  $\frac{1}{4}$ " de diámetro por 1".



Foto 37 Detalle del refuerzo para el elemento horizontal



Foto 38 Sujeción del anillo de acero a la máquina

### 4.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Debido a que no se contaba con la infraestructura necesaria para poder evaluar la unión en conjunto se vio la necesidad de evaluar los elementos que la conformaban por separado y según los resultados obtenidos en cada uno de ellos expresar el caso más desfavorable como base principal para predecir la máxima carga resistente y rigidez que obtendrá la unión en conjunto y por consiguiente el panel y toda la estructura. A continuación se muestran los resultados obtenidos para los dos elementos estudiados.

#### 4.3.1 Elemento Horizontal

Fue el elemento que menos inconvenientes presentó en su comportamiento. Debido a su configuración en el panel, este elemento solo estará sometido a fuerzas axiales, es decir, a tracción o compresión siendo la primera la sollicitación más importante ya que por ella se dificulta el anclaje entre elementos.

Las primeras probetas realizadas se idearon con el fin de mirar el comportamiento que tendría la sola Guadua para luego compararla con la rigidez aportada por el anclaje propuesto. Se pretaladró las paredes con una broca de 5/8" para la inserción del perno.

Se fallaron probetas con nudo y sin nudo en el extremo para ver el efecto que produce este en la resistencia del elemento. Se tomó guadua de diferentes diámetros los cuales estuvieron entre los 10.5 y los 12.5 cm. Después de falladas se les tomó la humedad y se encontró un promedio de 15-20 %

A continuación se muestran los gráficos que compara la carga aplicada vs la deformación obtenida en donde las tendencias en color azul se descartan para el análisis por salirse del comportamiento general de las demás pruebas

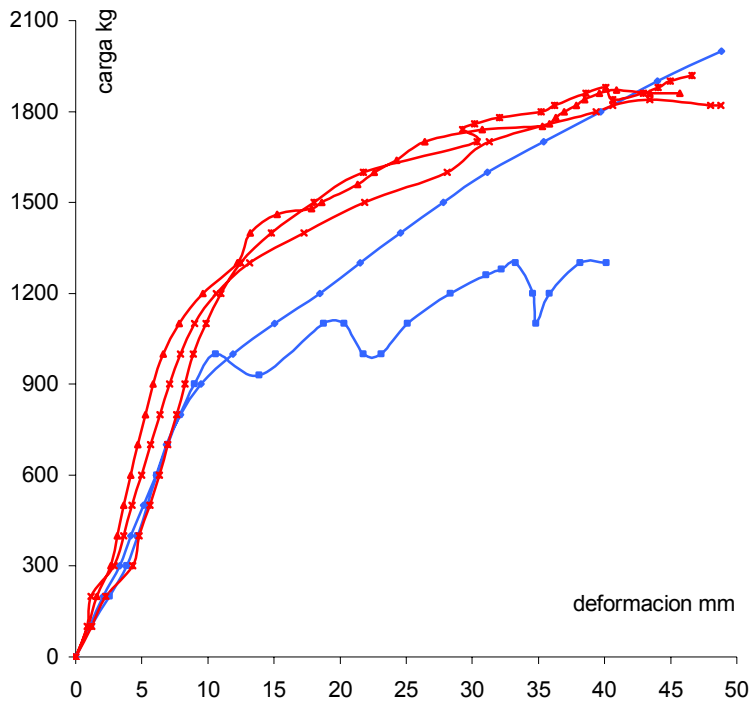


Gráfico 2 Resultados para las probetas EHP con nudo

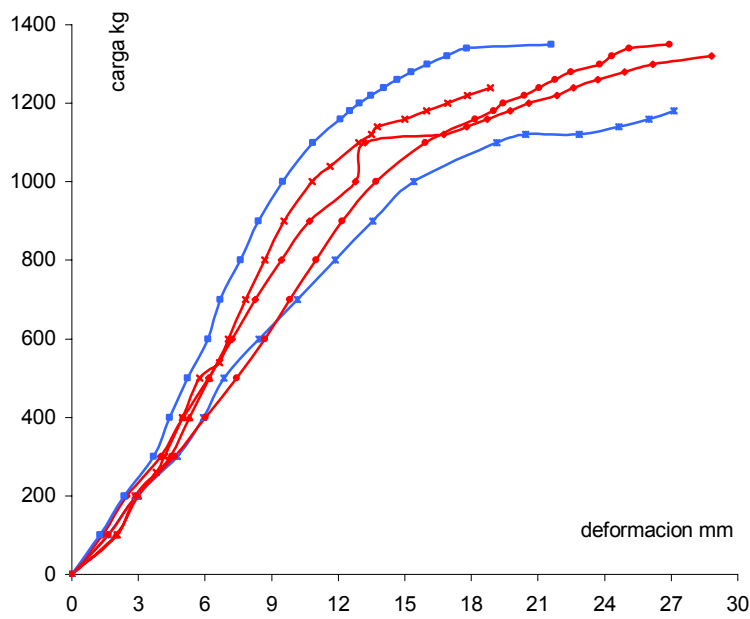


Gráfico 3 Resultados para las probetas EHP sin nudo

En las siguientes pruebas se le adiciona una lámina envuelta a la Guadua y como elemento conectores se utilizan clavos de acero. Como aditivo final para aumentar la rigidez en el elemento se embebe el canuto con un mortero a base de aserrín buscando reducir el peso en el elemento. Estas probetas no poseen nudo en el extremo de falla. Los resultados son

los siguientes, en donde las tendencias de color azul se les redujo la distancia del perno al borde de 15 a 10 cm. pero aumentando el número de de conectores de 10 a 14.

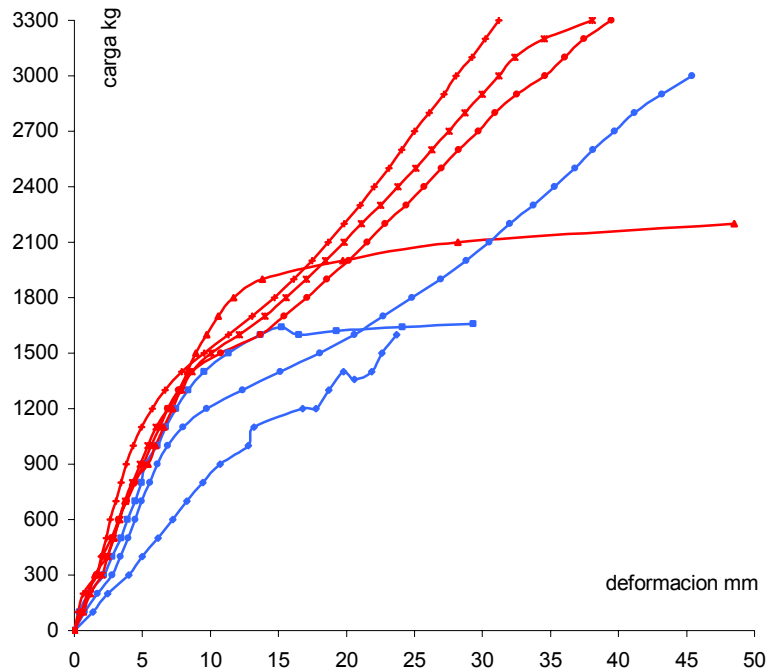


Gráfico 4 Resultados para las probetas EHL

#### 4.3.2 Elemento Vertical

Al igual que el elemento horizontal, se quiso ver cual era el comportamiento de la probeta cuando no se utilizaba ningún aditamento externo que no fuera la Guadua misma. Se quiso también averiguar cual era la rigidez aportada por el nudo cuando se sometía a aplastamiento o cortante perpendicular a las fibras. La distancia de este perno al borde de falla fue un valor constante de 6 cm.

A continuación se muestran los gráficos que compara la carga aplicada vs la deformación obtenida en donde las tendencias en color azul se descartan para el análisis por salirse del comportamiento general de las demás pruebas.

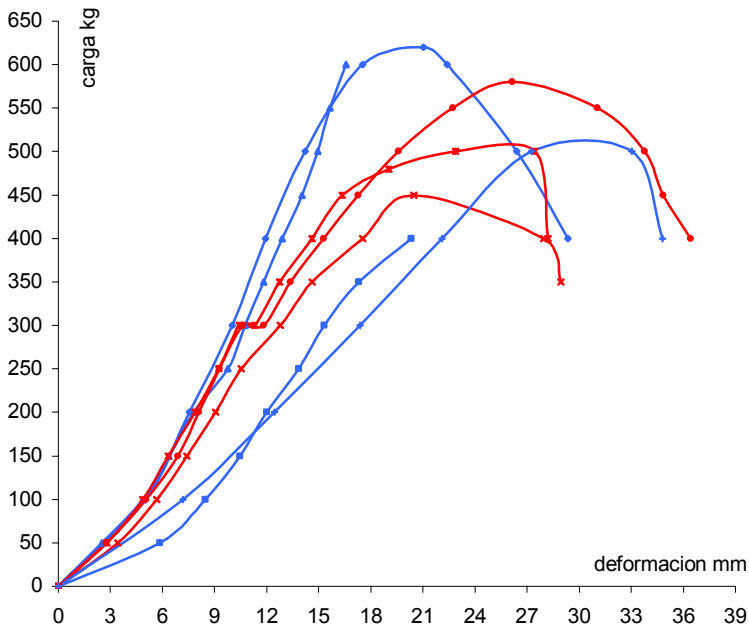


Gráfico 5 Resultados para las probetas EVP con nudo

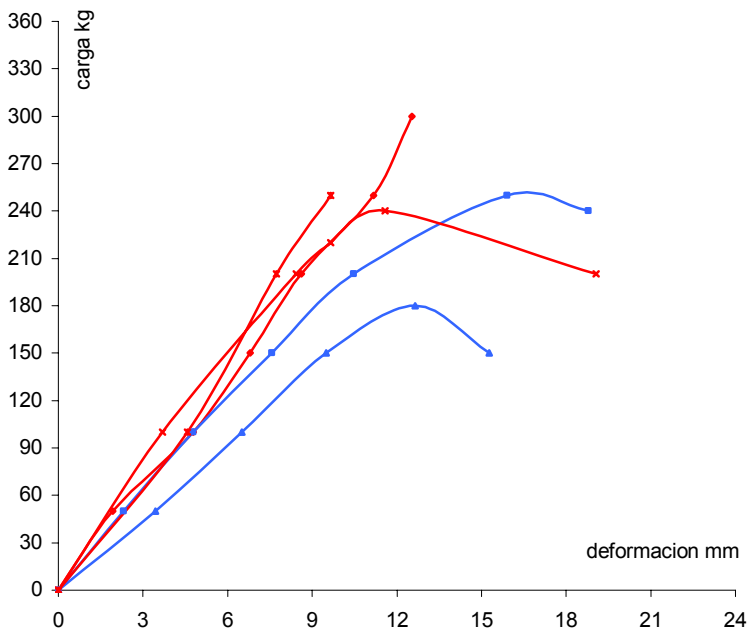


Gráfico 6 Resultados para las probetas EVP con nudo

Las probetas EVMo son aquellas que se les embebió mortero dentro del canuto para volver la Guadua rolliza y mejorar así su resistencia al aplastamiento. Los siguientes fueron los resultados obtenidos.

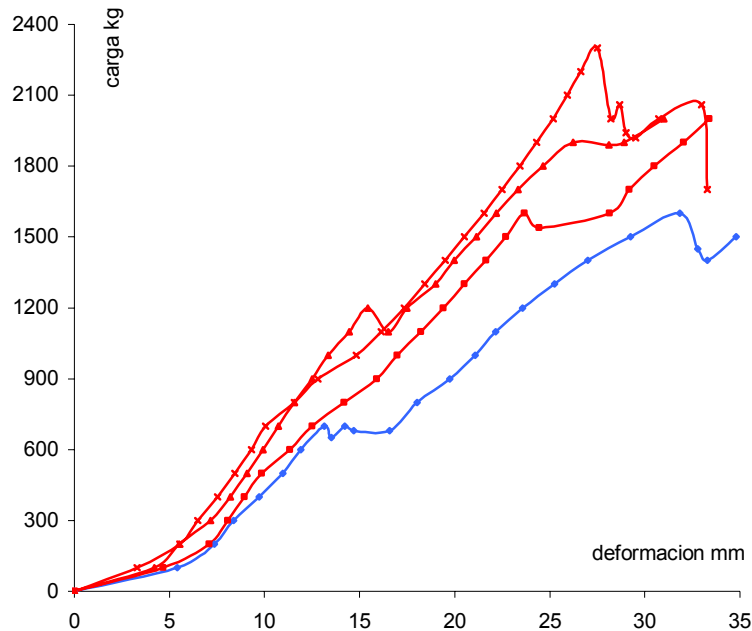


Gráfico 7 Resultados para las probetas EVMo

Para sortear el problema del peso se pensó la forma de introducir tacos de maderas volviendo también la Guadua rolliza. A estas probetas se les llamó EVMa. Se consiguió varas de madera rolliza (especie copillo catalogada como madera dura) cuyo diámetro fuera aproximadamente igual al de la Guadua y con ayuda de un torno y lija se le dio la forma circular requerida para que se pudiera introducirse en el canuto. La longitud de cada taco fue de 15 cm.

Los resultados fueron los siguientes.

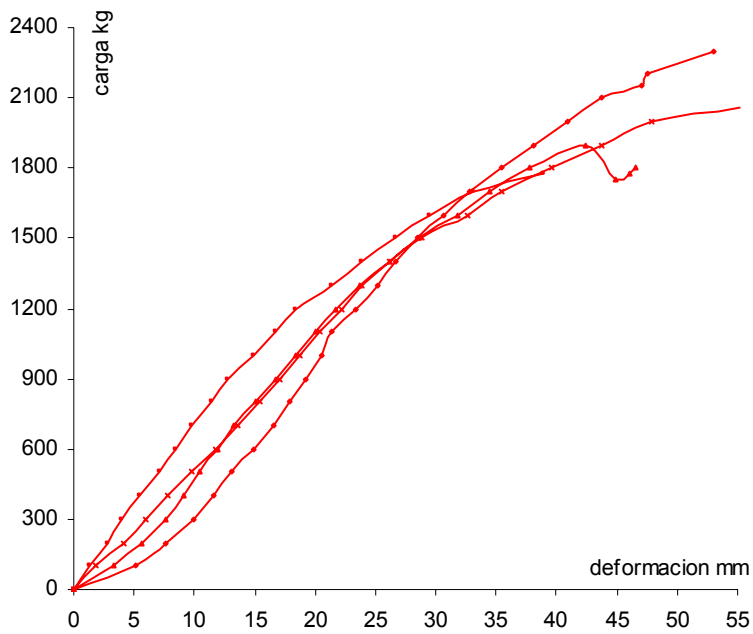


Gráfico 8 Resultados para las probetas EVMa

Por último las probetas EVL para la optimización de la unión están conformadas al igual que sus elementos horizontales por una lámina cold rolled enrollada para evitar la abertura característica que se vio en las probetas anteriores y un aglomerado de cemento y aserrín para evitar el aplastamiento.

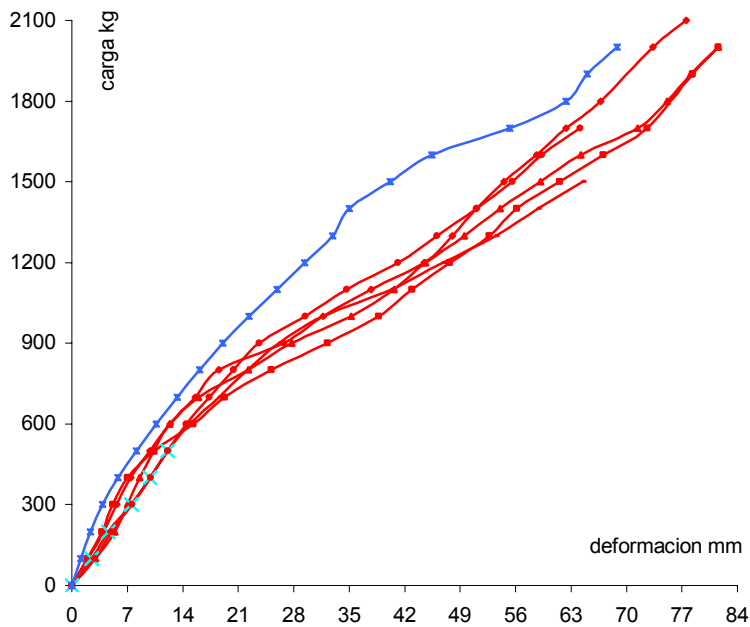


Gráfico 9 Resultados para las probetas EVL

## 4.4 FALLAS Y ANÁLISIS

### 4.4.1 Elemento Horizontal

El incremento en la resistencia para probetas que poseen nudo en el extremo a las que no tiene es progresivo a medida que se aumenta la carga. Como se puede observar en la gráfica siguiente, el tener nudo en el extremo le puede aportar al elemento una resistencia de entre 200 y 400 Kg.

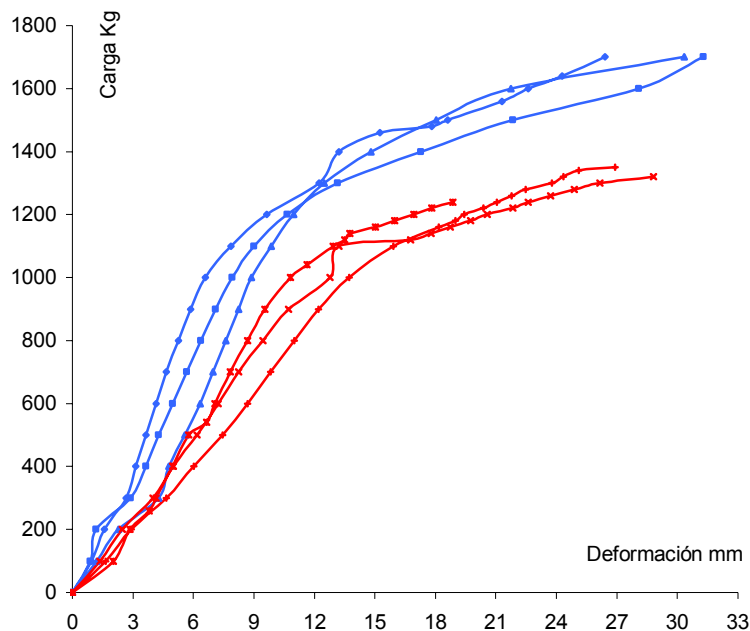


Gráfico 10 Comparación de EHP con y sin nudo

El elemento horizontal será capaz de resistir una fuerza de 1.4 ton si este presenta un diafragma en el borde de falla presentado, con una deformación de aproximadamente 17 mm. ( $K = 82 \text{ Kg./mm.}$ ). Si el elemento no presenta un nudo en el extremo se hace necesario ayudarlo a resistir el cortante mediante algún accesorio externo.

La poca rigidez que presenta el perno transversal al cortante sometido, debido a la forma de conexión propuesta, hace que las deformaciones mostradas en el elemento horizontal se deban al perno y no a la Guadua.



Foto 39 Deformación perno transversal

Las fallas presentadas se deben al cortante paralelo a las fibras por acción del perno transversal. Al principio de la carga al doblarse el perno (ver foto 39 y 45) este trata de aplastar la pared de la Guadua mediante las tuercas y arandelas. Al encontrar resistencia por parte de la Guadua y al endurecerse el perno transversal, este comienza a abollar la pared en el sentido donde se está moviendo hasta la falla por cortante.

Cuando el elemento presenta nudo en el extremo, este interrumpe la línea de falla hasta que la carga sea lo suficiente para producirle cortante al nudo mismo. A continuación se muestra dichas fallas.



*Foto 40 Falla por abolladura y cortante en un plano EHP sin nudo*

*Foto 41 Falla por abolladura y cortante en dos planos EHP con nudo*

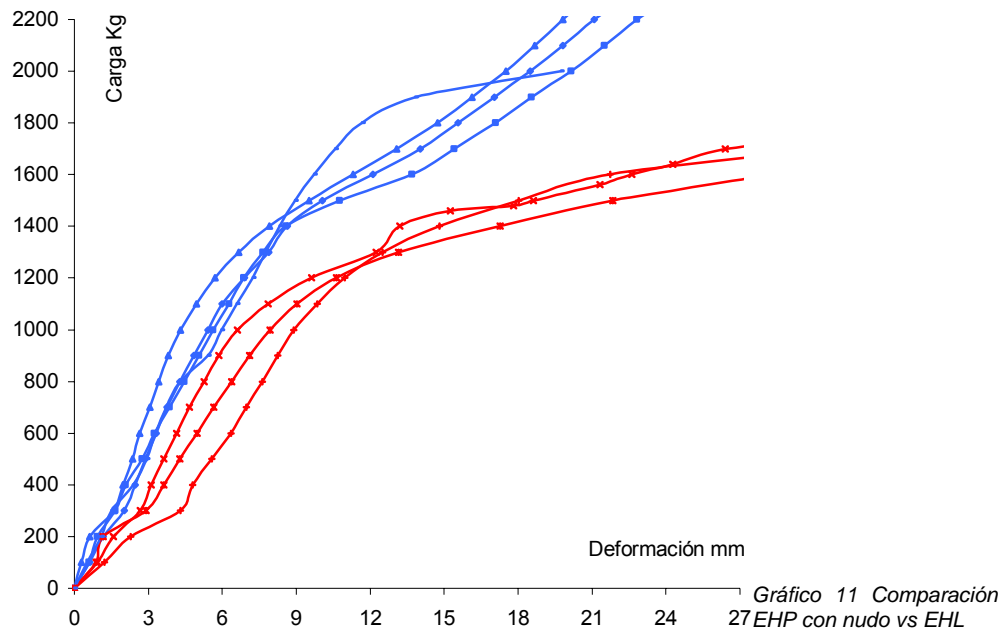
*Foto 42 Falla por cortante EHP con nudo*

*Foto 43 Falla por cortante en una sola pared de la Guadua EHP*

Para aumentar la resistencia del elemento horizontal se buscó la manera de embeber el canuto para rigidizar el perno transversal pero sin aumentar el peso del elemento. Para esto se diseño una mezcla consiste en cemento y aserrín cuyas proporciones en peso comparadas con el cemento es el 50% para la viruta y 60% para el agua

Para evitar el abollamiento y retardar el cortante cuando no presenta nudo en el extremo se rigidizó la pared de la Guadua envolviéndola en lámina anclada a esta con clavos de acero.

En el siguiente gráfico se compara las rigideces del elemento horizontal cuando presenta nudo en el extremo (tendencia roja) y cuando no lo tiene pero presenta la lámina y el aglomerado (tendencia azul)



De acuerdo al gráfico anterior se demuestra que no es necesario utilizar mortero dentro del canuto si el elemento solo va estar sometido a fuerzas axiales. Las deformaciones presentadas son producto de la poca rigidez que presenta el perno transversal debido a la forma de anclaje que se plantea y no por la resistencia de la Guadua.



Foto 44 Falla perno transversal

Cuando la Guadua no presenta nudo en el extremo se consiguió un aumento de la rigidez de 250% para la propuesta planteada para una carga de 1.4 ton, en donde la deformación obtenida será tan solo de 10mm en comparación con los 27mm para elementos con solo Guadua.

Las fallas presentadas para esta probetas se debieron también por cortante paralelo a las fibras pero para cargas superiores a las 3.5 ton. Se presentaron 2 cargas de falla de tan solo 1.6 ton pero se debió a que no se respeto la distancia mínima de 10 veces el diámetro del perno atravesado al borde de la Guadua. El perno transversal se colocó a 10 cm. del borde pero con 14 clavos sujetando la lámina y no 10 como las probetas en donde la distancia era de 15 cm.

Debido a que el aglomerado utilizado es poco resistente se debe sujetar de alguna manera el perno transmisor de esfuerzos entre elementos en su dobléz de 180° para evitar una falla explosiva en el aglomerado (ver foto 46 y 47).



Foto 45 Falla por cortante EHL



Foto 46 Falla elemento transmisor



Foto 47 Falla por cortante múltiple

#### 4.4.2 Elemento Vertical

Para los elementos que estarán sometidas a aplastamiento la presencia o no de nudo en el borde de falla no aporta rigidez alguna dentro de los primeros 150- 200 Kg. de carga presentando deformaciones de 8 mm. ( $K= 25 \text{ Kg./mm.}$ ) Sin embargo las probetas que presentan diafragma en el borde de falla alcanza valores de carga de 500 Kg. con igual rigidez (ver gráfico 12).

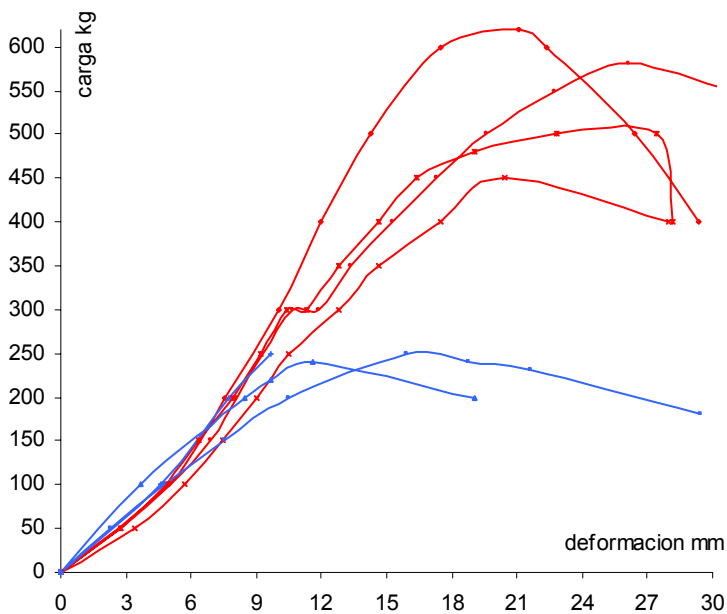


Gráfico 12 Comparación EVP con y sin nudo



Foto 48 Cortante debido al aplastamiento

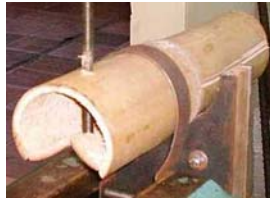


Foto 49 Aplastamiento EVP sin nudo



Foto 50 Aplastamiento EVP con nudo

Las siguientes probetas consistieron en volver la Guadua rolliza para que el material de relleno ayuden a evitar la flexión ocasionada por la carga perpendicular a las fibras. En la siguiente gráfica se compara las probetas con mortero embebido como material de relleno (tendencia roja) vs. taco de madera como material de relleno y liviano (tendencia azul).

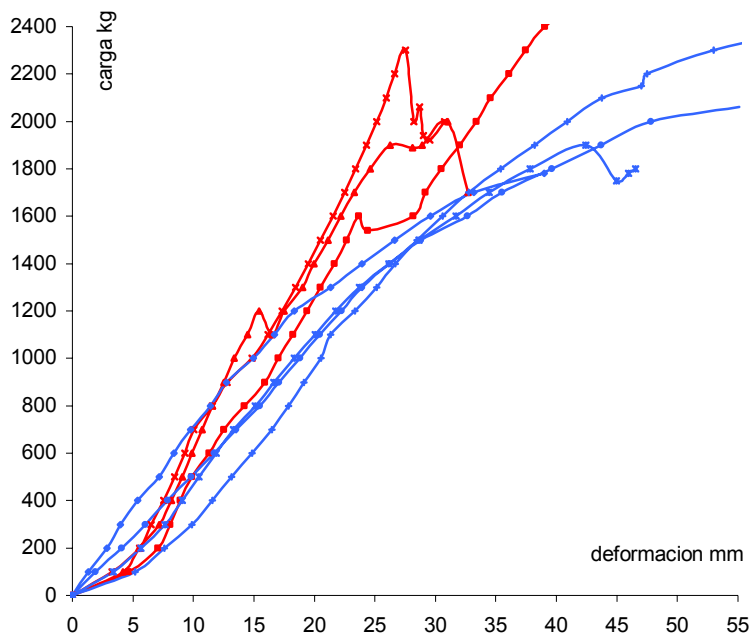


Gráfico 13 Comportamiento EVMo vs. EVMa

Para los tipos de relleno estudiados (madera tendencia azul y mortero tendencia roja) se ve que tienen un mismo comportamiento para los primeros 400-600 Kg. de carga que es la

misma carga de resistencia como si tuviera el nudo en el extremo pero con una rigidez más alta (deformaciones de 10 mm.).

Sin embargo se puede apreciar que el mortero resulta más resistente que la madera comparada, pero superada tan solo por 4 mm. en su deformación para una carga resistente de 1.4 ton.

La utilización de madera puede ser considerada una alternativa viable como material de relleno justificando su comportamiento parecido al del mortero, además de su ayuda en la reducción del peso en la estructura y por lo tanto en la fuerza sísmica presente en la edificación. Sin embargo, aunque su costo en la compra del material es mucho más bajo que el utilizado en el mortero su construcción y tiempo de realización supera al utilizado en este último.

Las fallas presentadas se presentan a continuación.



*Foto 51 Falla taco de madera*



*Foto 52 EVMa antes de la falla*



*Foto 53 EVMa después de la falla*

Como última alternativa y tratando de tomar las ventajas que presentan cada una de los materiales anteriores: La facilidad en la construcción del mortero y la liviandad en el taco de madera, se diseñó un aglomerado consistente en cemento, aserrín y agua de las mismas características que el utilizado en las propuestas para el elemento horizontal. Además se colocó una lámina que envolviera al elemento para evitar el cortante apreciado en las probetas EVMa y EVMo en las primeras cargas.

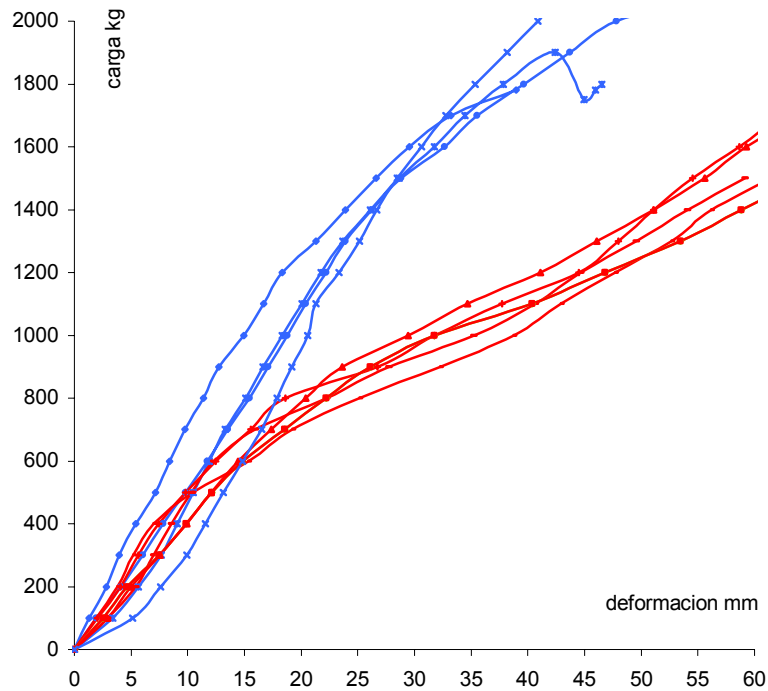


Gráfico 14 Comportamiento EVMa vs EVL

La rigidez presentada en EVL para una carga de 1.4 ton es la misma que presenta un elemento que tiene nudo en el borde de falla ( $K= 25 \text{ Kg./mm}$ ) pero muchísimo menor que si tuviera madera o mortero embebido ( $K= 60\text{-}70 \text{ Kg./mm/}$ )



Foto 54 EVL antes de la falla



Foto 55 falla por aplastamiento para EVL



Foto 56 Incidencia de la Guaya

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

Por tener altos rendimientos en volúmenes x hectárea, rápido crecimiento, tiempos cortos de aprovechamiento, resistencia, versatilidad y calidades físico mecánicas la Guadua se vuelve una alternativa viable como solución a la demanda de especies maderables en el campo de la construcción.

La utilización de mortero embebido y perno longitudinal atravesando varios canutos es el anclaje más utilizado para uniones con Guadua. Se ha demostrado excelentes resistencias en pruebas aisladas (> 4.0 ton) pero no se justifica solo utilizar el tabique cuando la verdadera resistencia se encuentra en la pared de la Guadua. Además el aumento de peso que ocasiona el mortero en la estructura impide utilizar una de las mejores ventajas que tiene la Guadua como es su gran resistencia con tan baja densidad.

Las pletinas y los anclajes tipo mecánico y tipo abrazadera como elementos conectores logran tomar ventaja de la resistencia que presentan las paredes de la Guadua obteniéndose en estudios anteriores excelentes resultados como es el caso de esta última donde se alcanzaron valores en probetas aisladas de hasta 10 ton sin necesidad de utilizar mortero.

El mal uso de estos tipos de anclaje pueden volver la Guadua inútil como se pudo observar en la tesis de uniones con ángulo de incidencia en donde las probetas con anclaje tipo abrazadera resistieron cargas muy bajas debido al inadecuado elemento transmisor de esfuerzos entre uno y otro elemento (fluencia de lámina).

La Guadua es como un cilindro cuyas paredes están conformadas por una serie de fibras longitudinales paralelas entre sí altamente resistentes cada una, pero embebidas en una matriz débil (lignina). Para unir dos elementos de guadua lo ideal es obtener una sola fibra continua y esto se logra introduciendo pequeños dispositivos (clavos) en la pared de la misma, permitiendo que trabaje toda la pared del material y pueda dar toda su resistencia.

Se debe respetar una distancia mínima del borde de falla al perno transversal de mínimo 10 veces el diámetro del pasador para los EH. Para pernos de 5/8" distancias menores a 15 cm. hacen fallar la guadua por cortante paralelo a la fibra en dos planos a cargas muy bajas.

Los elementos que actúen como conectores entre Guadua y anclaje no deben ser muy grandes ya que producen cortante en dos planos. Los resultados con clavos de acero de 1/8" ofrecieron excelentes resultados siendo más económicos que los tornillos de 1/4".

El pretaladrar los orificios en la pared de la Guadua mejora los resultados de resistencia al no ocasionar fisuras iniciales durante la introducción de los clavos o pasadores.

La deformación resultante en las pruebas realizadas se debió principalmente a la falla del perno y no de la Guadua. Para los elementos que estarán sometidos a cortante paralelo a las fibras se puede disminuir dichas deformaciones aumentando la resistencia del perno transversal de Grado 2 a Grado 5 u 8.

No se hace necesario embeber el elemento horizontal con mortero para resistir las cargas presentadas. Si la Guadua presenta nudo en el extremo de falla no se hace necesario utilizar el anclaje propuesto de abrazadera y clavos.

Para pruebas con materiales como la guadua se debe trabajar con cargas de servicio ya que ayuda a entender lo que está ocurriendo en la estructura tanto en términos de esfuerzos como de deformaciones, asociando las reacciones de la estructura a las condiciones reales de carga. Tomando como base lo anterior, para validar la propuesta de unión se utilizó un FS de 3 resultando un valor de carga resistida de 1.4 ton para la vivienda propuesta.

La utilización de tacos de madera puede ser considerada una alternativa viable como material de relleno justificando su comportamiento parecido al del mortero en elementos que estén sometidos a aplastamiento, además de su ayuda en la reducción del peso en la estructura y por lo tanto en la fuerza sísmica actuante en la edificación. Sin embargo, aunque su costo en la compra del material es mucho más bajo que el utilizado en el mortero, su construcción y tiempo de realización supera al utilizado en este último.

La presencia de nudo en el borde de falla aumenta la resistencia de los elementos. Como la Guadua por su heterogeneidad no se puede industrializar, se debe buscar que los elementos verticales terminen en sus extremos en diafragmas cerrados (nudos).

El anclaje propuesto para el elemento horizontal que consiste en atravesar una varilla roscada de 5/8" de diámetro grado 2 a una distancia mayor de 15 cm. se combinará con la lámina propuesta si el elemento a conectar no presenta nudo en el extremo. En ambos casos el canuto debe estar embebido en aglomerado para que el elemento pueda resistir cargas de tracción y compresión.

El anclaje propuesto consiste para el elemento vertical en atravesar una varilla roscada de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro grado 2 a una distancia del borde igual a la mitad del diámetro externo de la Guadua horizontal conectada. El dobléz de  $180^\circ$  que presenta en el extremo para conectarse con el perno del elemento horizontal debe estar amarrado de alguna forma. El elemento vertical debe tener nudo en el extremo y el canuto donde se encuentre la varilla debe estar completamente embebido en mortero para resistir el aplastamiento.

La unión propuesta presentó un comportamiento satisfactorio ante las cargas solicitadas por el panel analizado.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

La Guadua, como bosque protector de suelos o cuencas se debe sembrar en triangulo con distancias de 3x3x3 m. Como bosque productor aprovechable se debe sembrar en cuadrado con distancias de 5x5 m, obteniéndose densidades de 400 plantas x hectárea.

Se debe buscar que la Guadua trabaje en lo posible solo a fuerzas axiales. El modelamiento se realiza como si fuera una armadura. Pruebas realizadas en codos demostró la poca capacidad de recibir carga con grandes deformaciones actuando como articulaciones aunque sus conectores fueran pernos y estuvieran embebidos en mortero.

Al trabajar con Guadua, cualquier irregularidad en el material afectará su resistencia y durabilidad en una construcción. Al momento de su selección, se debe tener en cuenta aspectos como edad (superior de 4 años) y humedad ( $< 20\%$ ). No deben emplearse secciones de Guadua que hayan sido atacadas por insectos, presenten señales de pudrición, tengan rajaduras o fisuras longitudinales, que se prolonguen con el tiempo volviendo a la Guadua inútil y de poco provecho.

## BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Manual de Construcción Sismo Resistente de viviendas en Bahareque encementado, 2001. Publicación con el auspicio de la Fundación Corona. 69 p.

\_\_\_\_\_, Estudio Sobre El Comportamiento De Conexiones Con Guadua. Bogotá, 2000. Centro de Procesamiento de Información Sismológica. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 25 p.

CARVAJAL, Willian N., ORTEGON, William O. Y ROMERO, Carlos J. Elementos estructurales en bambú. Bogotá, 1981. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

CLAVIJO ORTIZ, Sandra C. y TRUJILLO CHEATLE David J. Evaluación de uniones a tracción en Guadua. Santa fe de Bogotá, 2000. Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. 121 p

Decreto número 52 de 2001 por medio del cual se modifica y adiciona el Capítulo E del Decreto 33 de 1998 al Reglamento de construcciones sismo resistentes, NSR-98. Bogotá, D. C. 2002. Ministerio de Desarrollo Económico.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. La Guadua: un regalo de la naturaleza, 1990. 33 p.

FLOREZ ARCILA Mónica Liliana. Relatos desde el Bahareque. Armenia, 2000. Centro de publicaciones de la Universidad del Quindío. Pág. 13.

GABRIELE, José Luis y HERRERA, Hernán Darío. Parámetros De Diseño De Elementos De Guadua Cultivada En El Municipio De Aratoca, Santander. Bucaramanga, 2004. Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. 152 p

GARZÓN CAICEDO, Jenny Varina. Optimización de estructuras en Guadua. Santa fe de Bogotá, 1996. Trabajo de grado (Arquitecta). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes. Departamento de construcción; p. 106.

GIRALDO, H. Edgar Y SABOGAL, O. Aureliano. Una alternativa sostenible: La Guadua. Corporación Autónoma Regional del Quindío C.R.Q., 1999, p. 156.

GÓMEZ Raúl y GUTIERREZ Juan. Diseño Y Elaboración A Escala Natural De Armaduras En Guadua Angustifolia. Bogotá 2002. Universidad Nacional de Colombia. Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil.

HERNANDEZ Jackson y SANTOS Antonio. Estudio Sobre El Comportamiento De Páneles Para La Conformación De Vivienda. Bucaramanga, 2004. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de Grado (Ing. Civil). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil.

HIDALGO LÓPEZ, Oscar. Bambú, su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía. Cali : CIBAM, Centro de Investigación de Bambú y Madera, Universidad Nacional de Colombia. Estudios Técnicos Colombianos Ltda.-Editores, 1974. 318 p.

\_\_\_\_\_, Oscar. Manual de Construcción con Bambú: Construcción rural-1. Bogotá : CIBAM, Centro de Investigación de Bambú y Madera, Universidad Nacional de Colombia. Estudios Técnicos Colombianos Ltda. -Editores, 1981. 70 p.

Hojas Informativas Del Centro Nacional Para El Estudio Del Bambú-Guadua Corporación Autónoma Regional Del Quindío. 18 p.

JANSSEN Jules. Designing And Building With Bamboo. Internacional Network for Bamboo And Ratan 2000. 207 p.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. Lima – Perú, 1984. Capítulo 12.

LONDOÑO Ximena. Taller teórico-práctico Distribución, Morfología, Taxonomía, Anatomía, Silvicultura y Usos de los Bambúes del Nuevo Reino. Jardín Botánico de Cienfuegos, Cuba. 7-17 de Sep / 1993

LOPEZ, L y SILVA, M Comportamiento sismorresistente de estructuras en bahareque. Manizales, 2000. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

MARTÍN, José Virgilio y MATEUS, Lelio Rafael. Determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra de la Guadua de Castilla. Bogotá 1981. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Agrícola.

MARTÍNEZ CÁCERES, Dixon Emmanuel. Puentes en do mayor (Tesis de grado). En: Congreso Mundial De Bambú/Guadua. (1º : 1992). Memorias I Congreso Mundial de Bambú / Guadua. Pereira: 1992; p. 173.

PARKER, Harry y AMBROSE, James. Diseño simplificado de estructuras en maderas. México : Limusa, 2000. p. 15.

PEÑA MUÑOZ, Cesar A. Y RODRÍGUEZ H., Hugo A. Propuesta de uniones mecánicas para estructuras de guadua. Santafé de Bogotá, 1997. Trabajo de grado (Arquitecto). Universidad Nacional de Colombia. Departamento de construcción; p. 108.

ROJAS Wilson. Informe Sobre La Investigación De Materiales Autóctonos Para Construcción De Vivienda Económica. Bucaramanga, 1977. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil.

STAMM, Jörg. Diseño y Construcción de Puentes en Guadua. En : SEMINARIO-TALLER DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PUENTES EN GUADUA. (1º : 2000 : Pereira). Memorias Seminario-Taller Diseño y Construcción de Puentes en Guadua. Pereira : 2000. 94 p.

TAKEUCHI Caory. Comportamiento Estructural de la Guadua Angustifolia, Uniones en Guadua. En: Seminario "Arquitectura e ingeniería de la Guadua", Bogota 18-19 de abril de 2003