

**ESTUDIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE PÁNELES EN GUADUA  
PARA LA CONFORMACIÓN DE VIVIENDA**

**JACKSON HERNÁNDEZ MARTÍNEZ  
ANTONIO VICENTE SANTOS MANTILLA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2004**

**ESTUDIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE PÁNELES EN GUADUA  
PARA LA CONFORMACIÓN DE VIVIENDA**

**JACKSON HERNÁNDEZ MARTÍNEZ  
ANTONIO VICENTE SANTOS MANTILLA**

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**

*A nuestros padres por asumir el sacrificio en nuestro nombre.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Ing. Ricardo Cruz, director del proyecto.

Efraín Pedrosa, alcalde del municipio de Aratoca.

Samuel Rodríguez, profesional de la CDMB.

Arq. Janer Mauricio Rodríguez, el préstamo de las herramientas fue valioso.

Técnico Miguel Agudelo, profesor titular del laboratorio de resistencia de materiales de la UIS.

Raúl, Hernán y José Luis, compañeros del gran proyecto.

Fabio, su tío y Pacho, muchas gracias.

Al GPH, por toda la colaboración prestada en el laboratorio de hidráulica.

Laura María y Eleana María, apoyo constante.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. LA GUADUA.....	3
1.1 HISTORIA.....	3
1.2 USOS.....	5
1.3 CLASES DE GUADUA.....	7
1.3.1 Guadua Macana (Macho): .....	9
1.3.2 Guadua Cebolla (Hembra):.....	9
1.4 MORFOLOGÍA.....	9
1.4.1 Sistema radical.....	10
1.4.2 Tallo.....	10
1.4.3 Yemas.....	11
1.4.4 Ramas.....	11
1.4.5 Hojas caulinares protectoras .....	11
1.4.6 Hojas foliares.....	12
1.4.7 Inflorescencia.....	12
1.4.8 Semilla-Fruto.....	13
1.5 ÉPOCA ADECUADA PARA EL CORTE DE LA GUADUA .....	13
1.6 CURADO DE TALLOS .....	14
1.6.1 Curado en la mata.....	14
1.6.2 Curado por inmersión en agua .....	15
1.6.3 Curado al Calor.....	15

1.7	PRESERVACIÓN EN LA GUADUA .....	15
1.8	DEFECTOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN Y EN EL GUADUAL .....	17
1.9	ANTECEDENTES EN EL CAMPO DE LA CONSTRUCCIÓN.....	17
1.9.1	Trayectoria de las investigaciones.....	17
1.9.2	Diseño de paneles estructurales.....	21
2.	BASES DEL DISEÑO ESTRUCTURAL.....	26
2.1	PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.....	26
2.1.1	Propiedades físicas.....	26
2.1.2	Propiedades mecánicas.....	27
2.2	UNIÓN TIPO SIMÓN VÉLEZ.....	30
2.3	ANÁLISIS DE CARGAS EN ESTRUCTURAS DE MADERA.....	31
2.4	DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN GUADUA .....	31
2.4.1	Aplastamiento .....	32
2.4.2	Compresión axial. ....	32
2.4.3	Corte paralelo a la fibra.....	34
2.5	MÉTODO DE ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA EN GUADUA CONSTITUIDA POR DIAFRAGMAS HORIZONTALES Y MUROS DE CORTE. ....	35
3.	METODOLOGÍA .....	36
3.1	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	36
3.2	SELECCIÓN DEL LUGAR DE CORTE.....	36
3.3	UBICACIÓN.....	36
3.3.1	Aratoca.....	36
3.3.2	Bucaramanga.....	37
3.4	CARACTERÍSTICAS DEL GUADUAL .....	37
3.4.1	Aratoca.....	37
3.4.2	Bucaramanga.....	37
3.5	CLASE DE GUADUA.....	37

3.6	OBTENCIÓN DE LA GUADUA.....	38
3.6.1	Selección de Guaduas aptas.....	38
3.6.2	Corte en la mata.....	38
3.6.3	Seccionamiento de los tallos.....	38
3.7	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA.....	39
3.8	HIPÓTESIS DEL MODELO.....	42
3.9	CONSTRUCCIÓN DE LOS PANELES.....	42
3.9.1	Tipo de unión empleado.....	42
3.9.2	Paneles.....	42
3.10	DISEÑO DEL MECANISMO DE PRUEBA.....	47
3.11	ENSAYOS.....	50
4.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	52
4.1	RESULTADOS.....	52
4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	54
4.2.1	Fatiga.....	54
4.2.2	Límite proporcional.....	54
4.2.3	Rigidez real del panel.....	56
4.2.4	Revestimientos.....	61
4.2.5	Análisis de la efectividad del panel.....	61
4.2.6	Revisión.....	62
4.2.7	Análisis de las fallas presentadas.....	64
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1	CONCLUSIONES.....	71
5.2	RECOMENDACIONES.....	72
	BIBLIOGRAFÍA.....	74
	ANEXOS.....	77

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Carácter chino que representa el bambú (CHU).....	3
Figura 2. Puente sobre el río Otún.....	4
Figura 3. Partes de la Guadua y su utilización .....	7
Figura 4. Curado en la mata .....	15
Figura 5. Paneles tipo 1 .....	22
Figura 6. Paneles tipo 2 .....	23
Figura 7. Paneles tipo 3 .....	23
Figura 8. Aplicación de cargas.....	25
Figura 9. Unión tipo Simón Vélez .....	30
Figura 10. Corte paralelo a la fibra .....	34
Figura 11. Panel tipo muro.....	40
Figura 12. Panel tipo puerta.....	41
Figura 13. Panel tipo ventana .....	41
Figura 14. Fuerzas axiales en cada tipo de panel .....	64

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Fotografía 1. Bahareque .....	4
Fotografía 2. Bicicleta en Guadua .....	5
Fotografía 3. Artesanos del municipio de Aratoca.....	5
Fotografía 4. Facultad de arquitectura, Universidad La Gran Colombia .....	5
Fotografía 5. Restaurante en Armenia.....	6
Fotografía 6. Uso comercial .....	6
Fotografía 7. Ciudad Alegría .....	6
Fotografía 8. Casa de la cultura, Córdoba.....	6
Fotografía 9. Casa en Piendamó .....	6
Fotografía 10. Casas GTZ .....	6
Fotografía 11. Guadua Cebolla.....	8
Fotografía 12. Guadua Macana .....	8
Fotografía 13. Guadua Rayada Negra.....	8
Fotografía 14. Guadua Cotuda .....	8
Fotografía 15. Guadua de Castilla .....	8
Fotografía 16. Rizoma.....	10
Fotografía 17. Tallo .....	10
Fotografía 18. Yema nodal.....	11
Fotografía 19. Ramas basales.....	11
Fotografía 20. Haz y envés de la hoja caulinar.....	12
Fotografía 21. Hoja o lámina foliar .....	12

Fotografía 22. Inflorescencia en Guadua Angustifolia Kunth .....	13
Fotografía 23. Casa del Proyecto Nacional de Bambú, Costa Rica .....	19
Fotografía 24. Pabellón del Zeri.....	20
Fotografía 25. Guaducto .....	21
Fotografía 26. Herramientas utilizadas en la construcción de los paneles .....	43
Fotografía 27. Bocaepescao .....	43
Fotografía 28. Corte de picoeflauta .....	44
Fotografía 29. Picoeflauta .....	44
Fotografía 30. Taladro y formón .....	44
Fotografía 31. Perforando para los pernos .....	44
Fotografía 32. Corte de pernos .....	45
Fotografía 33. Colocación de pernos .....	45
Fotografía 34. Transporte de panel armado .....	45
Fotografía 35. Elemento sintético .....	45
Fotografía 36. Orificios para inyectar mortero .....	46
Fotografía 37. Inyección de mortero con embudo .....	46
Fotografía 38. Inyección de mortero .....	46
Fotografía 39. Mortero en las soleras .....	46
Fotografía 40. Paneles listos para pruebas mecánicas .....	46
Fotografía 41. Sección de riel .....	47
Fotografía 42. Tablón con elementos transversales.....	48
Fotografía 43. Carga vertical.....	48
Fotografía 44. Apoyo contra deslizamiento .....	49
Fotografía 45. Apoyo contra volcamiento .....	49
Fotografía 46. Mecanismo de prueba .....	50
Fotografía 47. Aplicación de carga .....	50
Fotografía 48. Reglillas de precisión.....	51

Fotografía 49. Deformímetro.....	51
Fotografía 50. Desplazamiento de las uniones.....	61
Fotografía 51. Punto 5 panel muro .....	64
Fotografía 52. Punto 5 panel ventana.....	65
Fotografía 53. Punto 6 panel ventana.....	65
Fotografía 54. Punto 5 panel muro, pasador .....	65
Fotografía 55. Punto 1 panel muro .....	66
Fotografía 56. Punto 1 panel ventana.....	66
Fotografía 57. Punto 3 panel ventana.....	66
Fotografía 58. Puntos 8 y 9.....	66
Fotografía 59. Punto 5 panel muro .....	67
Fotografía 60. Punto 5 panel puerta .....	67
Fotografía 61. Punto 3 panel puerta .....	67
Fotografía 62. Punto 10 panel ventana.....	68
Fotografía 63. Punto 7 panel puerta .....	68
Fotografía 64. Punto 4 panel puerta .....	68
Fotografía 65. Punto 7 panel muro .....	69
Fotografía 66. Punto 1 panel puerta .....	69
Fotografía 67. Punto 1 panel muro .....	70
Fotografía 68. Punto 5 panel ventana.....	70
Fotografía 69. Punto 5 panel puerta .....	70

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Comparación de costos de producción de guadua preservada .....	16
Tabla 2. Esfuerzos últimos y admisibles.....	27
Tabla 3. Esfuerzos en Guadua cebolla y macana .....	28
Tabla 4. Módulo de elasticidad a compresión.....	28
Tabla 5. Módulo de elasticidad a flexión.....	29
Tabla 6. Valores de esfuerzos para la guadua de Aratoca.....	29
Tabla 7. K real para cada tipo de panel .....	60
Tabla 8. K real y K teórica para cada tipo de panel.....	60
Tabla 9. Porcentaje de la carga de servicio en el límite proporcional .....	62

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Promedio de agujeros encontrados en experimento con guaduas de Montenegro .....	16
Gráfica 2. Relación fuerza-deformación, panel tipo puerta .....	52
Gráfica 3. Relación fuerza deformación, panel tipo muro.....	53
Gráfica 4. Relación fuerza-deformación, panel tipo ventana.....	53
Gráfica 5. Límite proporcional, panel tipo puerta.....	55
Gráfica 6. Límite proporcional, panel tipo muro.....	55
Gráfica 7. Límite proporcional, panel tipo ventana .....	56
Gráfica 8. Último ciclo de carga para cada tipo de panel .....	59

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A.....	77
ANEXO B.....	89

## RESUMEN

### TITULO

ESTUDIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE PÁNELES EN GUADUA PARA LA CONFORMACIÓN DE VIVIENDA\*

### AUTORES

HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, Jackson  
SANTOS MANTILLA, Antonio Vicente \*\*

### PALABRAS CLAVES

Vivienda, Guadua, Paneles, Conexión, Resistencia, Rigidez, Deformación.

### DESCRIPCIÓN

El objetivo de este trabajo es evaluar la resistencia y rigidez de estructuras en Guadua que hacen parte de una unidad habitacional a fin de conocer el comportamiento de estas bajo las sollicitaciones de carga a las que va a estar sometida la vivienda.

Se identificaron treinta y cinco configuraciones internas de paneles que hacen parte de construcciones de casas en Guadua de los cuales se encontraron tres tipos comunes: puerta, muro y ventana. Para escoger los paneles que se estudiarán, se evalúa la relación beneficio-costo de cada uno de ellos y se proponen las alternativas más eficientes de cada uno de los tres tipos. Ya escogidos los que se estudiarán, se propone un tipo de vivienda rural teniendo en cuenta las características de estas en nuestra región, con el fin de validar la información que se obtendrá luego de los ensayos. Finalmente se construyen los paneles a escala 1:1, para ser sometidos a cargas verticales fijas y horizontales aplicadas en cuatro ciclos.

Los puntos críticos de los paneles son las conexiones, observándose que estas no tuvieron el comportamiento adecuado aún cuando estos resistieron las cargas bajo las cuales estarán sometidos en la vivienda propuesta. El comportamiento de los paneles no es elástico de manera que el valor de la rigidez real de cada uno de ellos se halla por medio de un análisis propuesto por los autores, en el cual se tiene en cuenta el valor de la deformación para cada valor de carga, además del número de paneles que constituirán la vivienda. Se observó que en las uniones la Guadua falló debido a concentraciones de esfuerzos en los extremos, esto debido al tipo de ensamble que se utilizó (bocaepescao y picoeflauta), las cuales inducen esfuerzos de tensión perpendicular a la fibra, para los cuales la Guadua tiene poca resistencia.

---

\* Proyecto de Grado.

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

Con formato: Español  
(Colombia)

## ABSTRACT

### TITLE

STUDY OF THE BEHAVIOR OF "GUADUA" FRAMES USED IN HOUSING CONSTRUCTION

### AUTHORS

HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, Jackson  
SACRED MANTILLA, Antonio Vicente \*\*

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

### KEY WORDS

Housing, Guadua, Panels, Connection, Resistance, Stiffness, Deformation.

### DESCRIPTION

The objective of this study is to evaluate the resistance and rigidity of structural frames made of "Guadua" that make part of a one-story rural residential unit under the action of seismic forces.

Three common types of frames were selected for this study (door, wall and window). The selection was carried out after the analysis of thirty-five different types of construction schemes, which were found in rural housing construction. The cost-benefit relationship was taken as a special consideration in choosing the types of frames to be studied. A frame scale of 1:1 was tested in each case under vertical and horizontal loads to simulate the seismic load under which the structure will be subjected to.

At the start of the study, the behavior of the frames in resisting the loads that they were subjected to for the particular purpose is still unknown. For this reason, the true value of the rigidity of the frames was determined using the method proposed by the authors. In the study it was found that the critical points of the frames were the connections. The joint elements show not to have enough resistance to the loads applied. They do not provide enough support to the deformation and movement of the elements. The study further reveals that the joints of the "Guadua" elements failed in resisting axial forces and the frames exhibit inelastic behavior.

---

\* Grade Project.

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

## INTRODUCCIÓN

En Colombia graves problemas como la violencia y la delincuencia común, obedecen a un profundo abismo de orden social relacionado con la falta de oportunidades para las personas de escasos recursos, de las cuales podríamos destacar la imposibilidad de obtener su propia vivienda. Cuando se logre que los habitantes de nuestro país no se preocupen por un lugar digno donde vivir, estaremos dispuestos a afrontar los demás problemas que dificultan el desarrollo eficaz de nuestra nación. Las familias colombianas de bajos recursos construyen su vivienda principalmente en ladrillo, pensando en un techo que los proteja, donde el único factor que cuenta es la economía, por esta razón muchas de estas construcciones no cumplen con las normas técnicas y se construyen sobre suelos peligrosos, así estas construcciones causan tragedias en medio de desastres naturales como sismos o deslizamiento de tierras.

La Guadua en Santander ha sido menospreciada como alternativa de construcción, ya que inconscientemente se asocia su utilización como símbolo de pobreza y transitoriedad, esto unido al monopolio del concreto y del acero en la industria de la construcción han retrasado la realización de estudios técnicos sobre sus propiedades.

En Colombia los estudios sobre Guadua se dan principalmente en el campo de las propiedades mecánicas y uniones sin mayores antecedentes en el estudio sobre paneles, donde guadua y elementos conectores trabajan en conjunto ante solicitaciones reales propias de una estructura en funcionamiento resistiendo esfuerzos combinados que realmente ponen a prueba la aptitud de la Guadua para construir bajo el cumplimiento de normas técnicas.

Este proyecto busca realizar un estudio técnico del comportamiento de paneles eficientes, utilizando la Guadua como unidad estructural con miras a ofrecer una futura alternativa de vivienda de calidad (interesante para cualquier estrato) que siendo de bajo costo sea sismorresistente, perdurable y arquitectónicamente bella, teniendo en cuenta que debido a la diversidad de usos y a la relación tradicional que une al campesino con la utilización de este

material, la Guadua representa una alternativa excelente como generadora de empleo, en lo referente al cuidado de las plantaciones, como al valor agregado correspondiente a su uso estructural y artesanal.

Para el desarrollo del proyecto se tiene como precedente los siguientes objetivos:

- Realizar un censo de tipos comunes de paneles utilizados en construcciones en Guadua.
  
- Evaluar analíticamente el comportamiento de los paneles encontrados utilizando un modelo de análisis matemático.
  
- De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis, proponer una alternativa eficiente de panel.
  
- Diseñar el mecanismo de prueba para evaluar el comportamiento de paneles ante las sollicitaciones por carga vertical y sísmica adaptando los recursos disponibles en la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS.
  
- Evaluar experimentalmente en un modelo a escala el comportamiento de los paneles ante las sollicitaciones requeridas.

## 1. LA GUADUA

### 1.1 HISTORIA

El Bambú es la especie vegetal mas abundante en el valle geográfico del río Cauca y una de las mas abundantes en el mundo entero. En el Japón se han contabilizado más de mil usos que se le pueden dar al bambú. “La Guadua fue utilizada por los indígenas del Cauca para construir puentes atirantados”<sup>1</sup>.

Figura 1. Carácter chino que representa el bambú (CHU)



Fuente: HIDALGO LÓPEZ, Oscar. Bambú, su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía.

“Desde su llegada al Quindío, los colonos encontraron en abundancia la Guadua, especie de bambú gigantesco. La utilizaron para hacer sus casas, sus camas, los instrumentos musicales, la banquetta, la tapia del fogón, el aparador, el tarro de la sal, el cedazo, el parapeto para la piedra de moler, los burros típicos para los juegos de los niños, las trampas para las perdices, el arcón del patio donde amarran la vaca recién parida, las estacas y talanqueras del potrero, la canoa que conduce el agua limpia desde las zanjas, 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. En suma: la Guadua fue y ha sido el soporte de aquella civilización de dichas tierras, como la porcelana en Asia, la piedra en Europa, el hierro y el cemento en Estados Unidos”<sup>2</sup>. “La Guadua serviría para cercas, acueductos, puentes, como elemento estructural y en la vivienda urbana se usó junto con revoques de cagajón para conformar el bahareque tradicional. En Manizales el bahareque

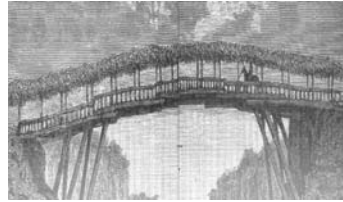
---

<sup>1</sup> AZUOLA GUERRA, Ramón. La Guadua. En: Revista Anales de Ingeniería. Vol. 1, N° 3 (Octubre 1887).

<sup>2</sup> BUITRAGO, Jaime. Hombres Transplantados. Manizales 1943. P. 68-69.

permitió que se desarrollara una arquitectura similar a la republicana europea, pues si bien la naciente burguesía no tenía los recursos para traer materiales del extranjero, si deseaban que sus edificios se parecieran a los palacetes del Viejo Continente”<sup>3</sup>.

**Figura 2. Puente sobre el río Otún**



Fuente: STAMM, Jörg. Seminario-Taller: Diseño y Construcción de Puentes en Guadua.

Contribuyó con sus versátiles propiedades a agilizar el proceso de doblamiento de las comunidades emigrantes, que finalmente establecieron en la hoya geográfica del Cauca ciudades como Medellín, Pereira, Manizales, Armenia y Cali, que hoy constituyen orgullo para Colombia. En Santander el bambú ha sido principal soporte en construcciones como vivienda y puentes al ser utilizada como esterilla en las cubiertas y ser combinadas con barro sistema constructivo que aun hoy se encuentra en uso, en el sistema de tapia pisada; la Guadua al igual que la caña de Castilla son utilizadas embebidas en el barro como refuerzo estructural método constructivo desarrollado por los indígenas de nuestra zona.

**Fotografía 1. Bahareque**



Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. La Guadua: un regalo de la naturaleza.

---

<sup>3</sup> ROBLEDO CASTILLO, Jorge Enrique. Un Siglo de Bahareque en el antiguo Caldas. En: CONGRESO MUNDIAL DE BAMBÚ/GUADUA. (1º: 1992: Pereira). Memorias I Congreso Mundial de Bambú/Guadua. Pereira: 1992. P. 129.

## 1.2 USOS

Su utilización en la construcción y la industria, representa menores costos en materia prima. Por sus excelentes propiedades físico-mecánicas, por su resistencia al ataque de insectos, por su belleza escénica y tal vez, por lo más importante la biodiversidad de aplicaciones, representa una valiosa alternativa económica que ha coadyuvado a mitigar la problemática social del campo; La inversión en un Guadual representa apenas entre el 25 y 30 % de las ganancias que se logran al cosechar el guadual.

**Fotografía 2. Bicicleta en Guadua**



Fuente: STAMM, Jörg. Seminario-Taller: Diseño y Construcción de Puentes en Guadua

**Fotografía 3. Artesanos del municipio de Aratoca**



Fuente: Diario Vanguardia Liberal

En Colombia aproximadamente 100.000 personas derivan su sustento del aprovechamiento, manejo y comercialización de la Guadua, de donde obtienen hasta \$400 dólares mensuales, con un ritmo de trabajo de 4 días laborables en la semana.

**Fotografía 4. Facultad de arquitectura, Universidad La Gran Colombia**



Fuente: Arq. Janer Mauricio Rodríguez

**Fotografía 5. Restaurante en Armenia**



**Fotografía 6. Uso comercial**



Fuente: GÓMEZ, Iván. La Guadua: un regalo de la naturaleza

El uso más importante a que es sometida la Guadua en Colombia y en América, es la construcción en bahareque, nombre dado a la mezcla de barro con paja o estiércol de equinos y Guadua. Este uso continúa teniendo vigencia y ha cobrado mayor interés entre los habitantes y los profesionales que orientan sus conocimientos a la construcción de viviendas. La Guadua es liviana, versátil de fácil adquisición, bajo costo comparada con otras maderas y que requiere para su utilización mano de obra especializada mas no calificada.

**Fotografía 7. Ciudad Alegría**



**Fotografía 8. Casa de la cultura, Córdoba**



Fuente: Nestor Bustamante

**Fotografía 9. Casa en Piendamó**



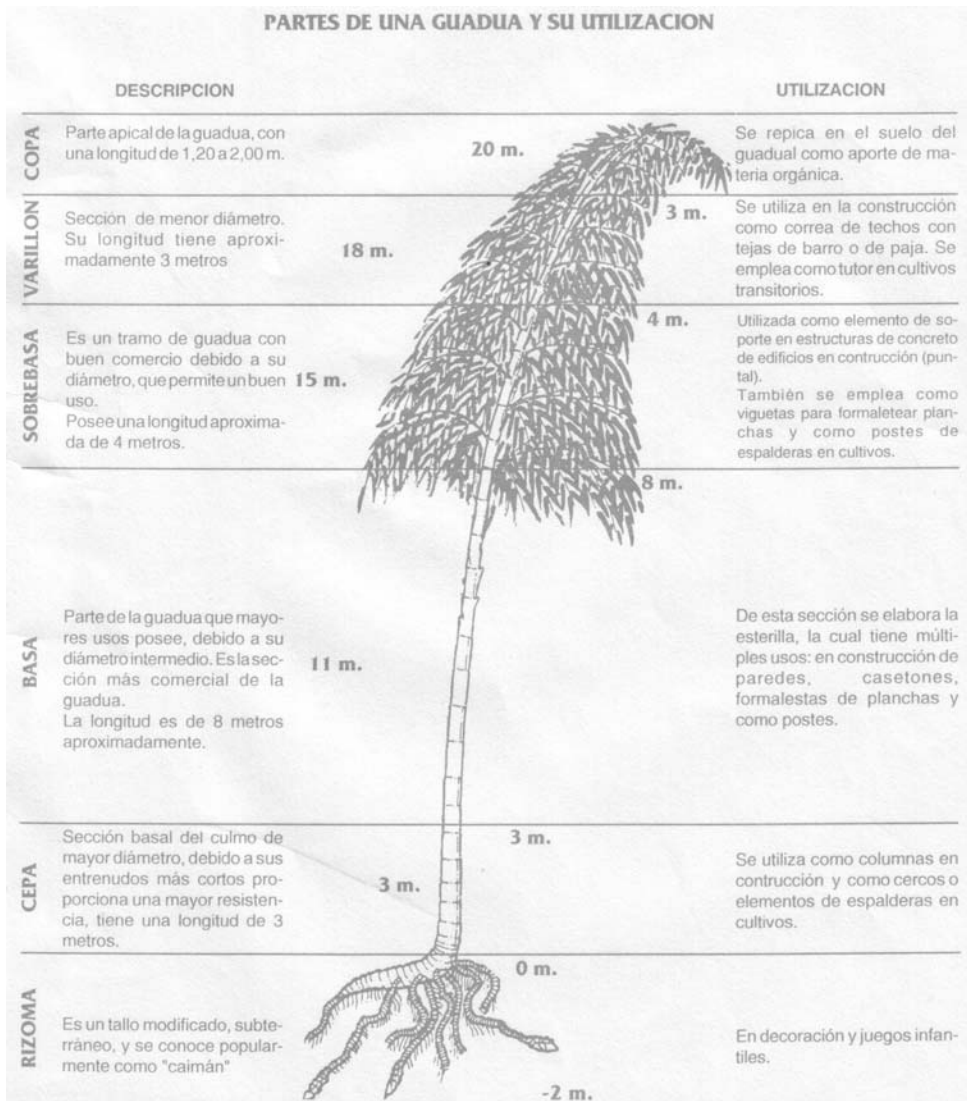
Fuente: Arq. Janer Mauricio Rodríguez

**Fotografía 10. Casas GTZ**



Fuente: STAMM, Jörg. Seminario-Taller: Diseño y Construcción de Puentes en Guadua

Figura 3. Partes de la Guadua y su utilización



Fuente: Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua C.R.Q. Hoja informativa N° 14.

### 1.3 CLASES DE GUADUA.

En Colombia dentro del género *Guadua* se han determinado 4 especies: *Angustifolia* en la región Central Andina; *Amplexifolia* localizada en los Llanos Orientales, parte norte de la

Orinoquía y la Costa Atlántica; *Superba* y *Weberbaueri* ubicadas en la Amazonía y el corredor Chocuanco del Pacífico; 1 variedad: *Guadua Angustifolia* var. *Bicolor* y 5 formas o biotipos denominados vulgarmente: cebolla, macana, rayada negra, cotuda y Castilla.

Las siguientes fotografías son extractadas del libro: *La Guadua: un regalo de la naturaleza*, de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

**Fotografía 11. Guadua Cebolla**



**Fotografía 12. Guadua Macana**



**Fotografía 13. Guadua Rayada Negra**



**Fotografía 14. Guadua Cotuda**



**Fotografía 15. Guadua de Castilla**



Las características de las clases más utilizadas en construcción <sup>4</sup> se presentan a continuación:

### **1.3.1 Guadua Macana (Macho):**

- ✧ Presenta coloración blanca debido al recubrimiento de un tejido blanquecino, reticulado y de tipo arenoso, esparcido a lo largo del entrenudo y más concentrado a nivel del nudo; los nudos son rectos.
- ✧ Acanaladura visible y prolongada hasta más allá de la mitad del entrenudo.
- ✧ Externamente tiene una apariencia de veteado acentuado y alto lustre.
- ✧ Es la más utilizada en la construcción.

### **1.3.2 Guadua Cebolla (Hembra):**

- ✧ Menor cantidad de esclerénquima o tejido duro, menor cantidad de haces fibrovasculares.
- ✧ Diámetros en la parte media de la cepa mayores de 0.10 metros, espesores de 0.01 metros.
- ✧ En corte longitudinal de culmos en estado adulto, la coloración interna es amarillenta, no hay presencia de tejido blanquecino y los nudos son convexos en el sentido del crecimiento del tallo.
- ✧ Acanaladura de la base de la yema hacia arriba apenas perceptible y que se prolonga hasta la mitad del entrenudo.

## **1.4 MORFOLOGÍA.**

---

<sup>4</sup> CLAVIJO ORTIZ, Sandra C. y TRUJILLO CHEATLE David J. Evaluación de uniones a tracción en Guadua. Santafé de Bogotá, 2000. Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Nacional de Colombia.

**1.4.1 Sistema radical.** En el tallo de Guadua adulto el sistema subterráneo lo conforman tallos indiferenciados con hojas modificadas que se denominan rizomas; estos tallos subterráneos son horizontales, cumplen la función de absorción, conducción y almacenamiento de nutrientes., Un cultivo de Guadua está conformado por una sola mata, es decir, los rizomas se interconectan formando un sistema de amarre al suelo. Además se puede decir que los rizomas son inmortales ya que son estructuras de perpetuación (se corta un tallo y nace otro).

**Fotografía 16. Rizoma**



Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. La Guadua: un regalo de la naturaleza

**1.4.2 Tallo.** Es el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma y es la parte más útil del Bambú. Consta de: cuello, nudos y cañutos. Se le denomina cuello a la parte de unión entre el rizoma y el culmo, nudo a los puntos de unión de los cañutos; y cañuto a la porción del culmo comprendida entre dos nudos. Los tallos van desde unos pocos centímetros hasta 40 m de altura y diámetro de 10 y 15 cm. en promedio.

**Fotografía 17. Tallo**



Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. La Guadua: un regalo de la naturaleza

**1.4.3 Yemas.** Normalmente en la planta se encuentran Yemas Axilares que se localizan en la axila de las hojas de las ramas superiores e inferiores y Yemas Nodales ubicadas en la parte superior del nudo. Estas son importantes en los estudios taxonómicos pues ayudan a identificar especies, secciones y géneros. Y en el campo de la biotecnología para la propagación "in Vitro" ya que contienen características hereditarias.

**Fotografía 18. Yema nodal**



Fuente: GIRALDO, H. Edgar Y SABOGAL, O. Aureliano. Una alternativa sostenible: La Guadua.

**1.4.4 Ramas.** Nacen en el tallo y se originan a partir de la yema. se han clasificado en ramas basales o bajas y ramas apicales o superiores; cada una cumple funciones específicas y se diferencian claramente. Tanto en los nudos de las ramas basales como en las apicales se presentan espinas puntiagudas y duras que a diferencia del tallo son macizas, Las ramas seleccionadas a partir de la tercera en altura y de la mitad de la rama se pueden utilizar también en la reproducción de la especie.

**Fotografía 19. Ramas basales**



Fuente: GIRALDO, H. Edgar y SABOGAL, O. Aureliano. Una alternativa sostenible: La Guadua.

**1.4.5 Hojas caulinares protectoras.** Cubren partes muy susceptibles de la planta como son las yemas, los rizomas, y el tallo durante los primeros estados de crecimiento y en las

ramificaciones de la planta donde existen nudos con yemas. Se caracterizan por su forma triangular, con o sin vellos. Los rizomas siempre presentan en los nudos hojas caulinares sin clorofila por permanecer cubiertas por suelo; la presencia de vellosidad, aparece a medida que el ápice del rizoma, comienza a emerger del suelo,

**Fotografía 20. Haz y envés de la hoja caulinar**



Fuente: GIRALDO, H. Edgar y SABOGAL, O. Aureliano. Una alternativa sostenible: La Guadua.

**1.4.6 Hojas foliares.** Las hojas en las ramas son alternas, una en cada nudo, es simple ya que la lámina está constituida por una sola pieza, se marchita pero no cae y persiste, funcionando en dos o más épocas de crecimiento. Tienen forma de espada con longitud promedio de 15 a 20 cm. y ancho entre 2 y 5 cm.

**Fotografía 21. Hoja o lámina foliar**



Fuente: GIRALDO, H. Edgar y SABOGAL, O. Aureliano. Una alternativa sostenible: La Guadua.

**1.4.7 Inflorescencia.** La floración de los bambúes con un origen común puede ser gregaria o esporádica. Florecen al mismo tiempo independiente de su edad y del lugar en que se encuentren. El ciclo de floración varía entre 3–60 años<sup>5</sup>. Después de florecer y producir semillas, el culmo se seca, la planta se debilita y muere con el rizoma, ocurriendo la muerte total de grandes poblaciones de bambú separadas entre si miles de kilómetros ocasionando

---

<sup>5</sup> LIESE, W. 1985. Bamboos: biology, silvies, properties, utilization. Schriftereihe der GTZ No. 180. 132p.

graves desequilibrios ecológicos. En la floración esporádica todos los miembros de una generación determinada con un origen común, entran gradualmente a la etapa reproductiva en diferentes tiempos, o en intervalos irregulares. Después de la floración esporádica se observa un ligero amarillamiento de la planta, pero con emisión de brotes nuevos; la planta no se muere.

**Fotografía 22. Inflorescencia en Guadua Angustifolia Kunth**



Fuente: URIBE, V. Maritza y DURAN, C. Alejandro. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. (Proyecto de grado).

**1.4.8 Semilla-Fruto.** El fruto es seco, indehiscente, permanece cerrado cuando está maduro; la espiga retiene las semillas que por lo regular son pocas y solitarias. Se asemeja a un grano de arroz en su forma, tamaño y cubierta, tiene coloración blanca en su interior por el alto contenido amiláceo y café claro en su exterior; presenta forma acanalada por uno de sus lados confluyendo con el embrión; la dimensión del grano es de 5 a 8 mm. de largo por 2 a 3 mm. de grosor.

## **1.5 ÉPOCA ADECUADA PARA EL CORTE DE LA GUADUA**

“Observaciones de campo, han demostrado que existe correlación entre el contenido de humedad y la época o fase de la luna en la cual se realice el corte; “En los experimentos realizados en Malabar del sur y en Coimbatore del Norte, no fue posible establecer relación alguna entre el ataque de insectos y los tallos cortados en creciente o en menguante. Sin embargo, los experimentos realizados en Nilgiris demostraron lo contrario, es decir que los bambúes cortados en menguante, 2 ó 3 días después de la luna llena, eran menos

propensos al ataque de insectos que los cortados en creciente”, lo que está de acuerdo con la creencia que existe en América, particularmente en Colombia<sup>6</sup>.

Lo anterior se debe a que cuando el espejo lunar se encuentra en la mayor exposición (luna llena) hay mayor atracción lumínica sobre los líquidos internos de la planta y por ende mayor circulación y contenido de humedad al interior de la planta; en esta fase lunar se recomienda no cortar la Guadua por ser más propensa para ser atacada por insectos o incubar hongos. Caso contrario sucede cuando el espejo lunar se encuentra en la mínima expresión (menguante o fase oscura), hay escasa atracción lumínica y poca o ninguna circulación de líquidos al interior de la planta. Es la época ideal para ser aprovechada y la mejor manera para preservar los tallos<sup>7</sup>.

## **1.6 CURADO DE TALLOS**

Después de cortado el tallo de Guadua, se recomienda que éste sea sometido al tratamiento de curado para garantizar mayor durabilidad y disminuir la vulnerabilidad frente a los insectos. Existen varias formas de hacer el curado como son: en la mata, por inmersión en agua, al calor y al humo.

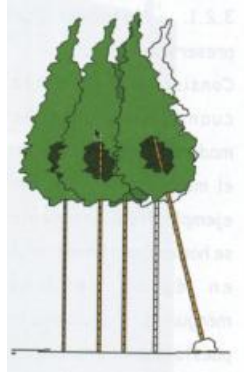
**1.6.1 Curado en la mata.** Es el método más aplicado por tradición, facilidad y bajo costo. Se realiza en el guadual. Consiste en dejar en pie el tallo después de cortado (desjarretado), se recuesta sobre las demás guaduas, de tal manera que del tallo escurra la savia, por un lapso no menor a 8 días, tiempo en el cual se considera que el tallo ha descargado la gran mayoría de líquidos. A partir de este tiempo la guadua, se debe someter al proceso de secado normal, es decir, con contenidos de humedad entre el 10 y 15% para ser utilizada.

---

<sup>6</sup> 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.

<sup>7</sup> GIRALDO, H. Edgar Y SABOGAL, O. Aureliano. Una alternativa sostenible: La Guadua. Corporación Autónoma Regional del Quindío C.R.Q., 1999, p. 156.

**Figura 4. Curado en la mata**



Fuente: HIDALGO LÓPEZ, Oscar. Manual de construcción con bambú.

**1.6.2 Curado por inmersión en agua.** Consiste en sumergir las guaduas después de cortadas en un estanque o en un río por menos de un mes. Es el menos recomendable de los sistemas de curado ya que las guaduas se manchan y se vuelven quebradizas.

**1.6.3 Curado al Calor.** Este sistema de curado es muy eficiente ya que se obtienen guaduas secas en corto tiempo. Consiste en poner las guaduas de forma horizontal sobre brasas a una distancia prudente para que no se quemen; las cañas se deben rotar para que con la diferencia de temperatura no se vayan a producir agrietamientos.

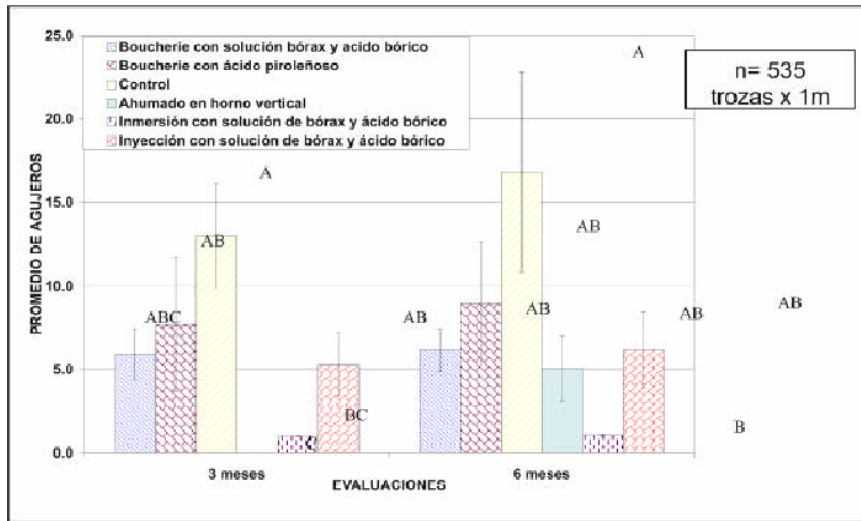
## **1.7 PRESERVACIÓN EN LA GUADUA**

El método de inmersión en solución de bórax y ácido bórico resultó ser el más efectivo. A pesar de que el material preservado presenta intentos de ataques por xilófagos, estos no prosperan porque la acción del preservante es paulatina en el tiempo y el insecto se muere<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> MONTOYA, Jorge Augusto. Investigación tecnológica en métodos para la preservación de la guadua. En : SEMINARIO-TALLER AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN SOBRE GUADUA (16° : 2002 : Pereira). Memorias Seminario-Taller Avances en la Investigación sobre Guadua. Pereira: 2002.

Gráfica 1. Promedio de agujeros encontrados en experimento con guaduas de Montenegro



Fuente: Memorias Seminario-Taller Avances en la Investigación sobre Guadua. Pereira: 2002.

En la tabla siguiente se presenta una comparación de costos entre los métodos de inmunización más utilizados en la que se observa que el método de inyección es el más económico.

Tabla 1. Comparación de costos de producción de guadua preservada

	INYECCION	INMERSION	BOUCHERIE ACIDO BORICO	BOUCHERIE ACIDO PIROLEÑOSO	AHUMADO HORNO VERTICAL	AHUMADO HORNO HORIZONTAL
Costos de Materiales (US\$/m)	0.01473	0.065	0.0156	0	0.030	0.038
Costos de Mano de Obra (US\$/m)	0.0053	0.0101	0.03	0.03	0.076	0.174
Costos de Funcionamiento (US\$/m)	0	0	0.0128	0.0128	0	0
Costos Administrativos (US\$/m)	0.0169	0.063	0.049	0.036	0.090	0.0081
<b>TOTALES (US\$)</b>	<b>0.03693</b>	<b>0.1381</b>	<b>0.1074</b>	<b>0.0788</b>	<b>0.196</b>	<b>0.2201</b>
<b>TOTALES (\$)</b>	<b>85</b>	<b>318</b>	<b>247</b>	<b>181</b>	<b>451</b>	<b>506</b>

Fuente: Memorias Seminario-Taller Avances en la Investigación sobre Guadua. Pereira: 2002.

## **1.8 DEFECTOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN Y EN EL GUADUAL**

Se presenta cuando se emplean tallos que han sido mal almacenados, mal secados o mal cortados o cuando los culmos son sometidos a transmisión de fuerzas entre un elemento y otro de manera no técnica. Otro defecto común en la construcción con Guadua es la mala transmisión de esfuerzos debido al inadecuado empleo de empalmes y apoyos entre elementos de una misma estructura. En el guadual los tallos sufren daños mecánicos que los hacen inservibles para cualquier uso, ya que éstos se desastillan a lo largo de los entrenudos destruyendo la linealidad de la fibra con la consecuente pérdida de las condiciones físico-mecánicas normales. Ejemplo de lo anterior, lo ocasionan los huracanes, los cuales con su fuerza, derriban los culmos, especialmente los de la periferia y cuando el guadual ha sido sobre explotado se revientan y caen los tallos del interior del guadual. Este efecto es común en guaduales ubicados en sitios altos.

## **1.9 ANTECEDENTES EN EL CAMPO DE LA CONSTRUCCIÓN**

**1.9.1 Trayectoria de las investigaciones.** El bambú debido a su importancia cultural, social y económica ha sido estudiado ampliamente en diferentes países como Japón, Puerto Rico, y Brasil, así mismo en Colombia se esta estudiado en la región del viejo caldas. Este estudio se ha centrado en sus propiedades, su desarrollo y aplicación en diferentes áreas, sin embargo estas investigaciones tienen solo un alcance local ya que sus propiedades físicas y mecánicas dependen directamente de las condiciones climáticas y ambientales, además de estar relacionadas con el tipo de suelo en el que se desarrolla.

Por otra parte el desarrollo en el campo de la construcción y artesanal esta fuertemente relacionado con la identidad cultural de una región, en lo referente a sus necesidades económicas, tradición y modo de vida, por estas razones se hace necesario estudiar la Guadua de Santander, reintegrarla a la cultura popular para que vuelva a ser una alternativa viable en el campo de la construcción proyectando la identidad cultural de los santandereanos.

Con la llegada del siglo XX se fue haciendo popular la idea del progreso, que para la mayoría de la gente significaba sepultar las costumbres regionales y adoptar un pensamiento moderno queriendo esto decir; copiar los modelos de conducta extranjeros, así la Guadua y la tapia pisada fue remplazada por materiales de construcción “modernos” como el hormigón y el acero.

Paradójicamente la historia de estudios técnicos que ayuden a entender su comportamiento es corta, para un material ampliamente utilizado en Colombia, una posible explicación a este descuido es dada por el arquitecto Oscar Hidalgo López. “¿Cuál ha sido la razón para que nuestros botánicos y científicos no se hubieran preocupado hasta ahora por estudiar la planta que ha sido mas útil al país y que más contribuyó al desarrollo económico y social de nuestra civilización pasada y presente?, la única razón que he podido encontrar es, que la idea de “pobreza” con la cual se asocia a la Guadua, por ser el material mas empleado por la gente de pocos recursos económicos en la construcción de sus viviendas y tugurios, ha contribuido a crear en el común de la gente un rechazo subconsciente hacia todo lo que tenga que ver con vivienda y artesanía de guadua, como también a toda idea o interés que surja por estudiar esta planta desde el punto de vista botánico, económico o estructural”<sup>9</sup>.

El arquitecto Oscar Hidalgo López, antiguo profesor de la Universidad Nacional de Colombia, en la década de los años 60's es el primer colombiano que siente la necesidad de investigar el bambú debido al uso intensivo que de él hacen las personas de las áreas rurales de Colombia. Así forja su reputación como pionero en la investigación sobre el bambú y específicamente sobre la Guadua, es reconocido a nivel mundial como una autoridad en Guadua gracias a sus estudios en el campo botánico, de silvicultura, inmunización, de uso en la industria del papel, en la fabricación de artesanías, y en la construcción. Actualmente trabaja con el INBAR (International Network of Bamboo And Rattan) para publicar una enciclopedia que recopilará los resultados de su investigación, así como su conocimiento teórico y práctico del bambú.

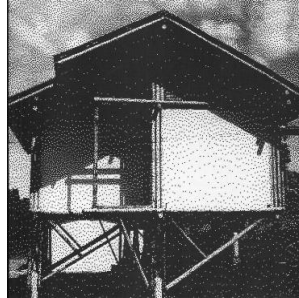
Oscar Hidalgo López fue participante del PNB “Proyecto Nacional del Bambú”; en el plan para prevenir la deforestación e incentivar la construcción con materiales alternativos, económicos y sostenible del cual ha sido líder desde sus inicios y hasta el presente. Este consiste en la

---

<sup>9</sup> HIDALGO LÓPEZ, Op. cit., p. 35.

utilización sostenible del bambú como material de base para la realización de un programa de vivienda de interés social y para la industrialización y comercialización de los productos complementarios. El proyecto ha construido 3000 soluciones de vivienda para familias pobres de áreas rurales hasta el año de 1998, con más de 300 Has de bosques de Bambú en zonas donde antes no lo había. En diciembre de 1990 el PNB había concluido un conjunto de 30 viviendas en la comunidad de Río Banano al sur de Puerto Limón.

**Fotografía 23. Casa del Proyecto Nacional de Bambú, Costa Rica**



Fuente: URIBE, V. Maritza y DURAN, C. Alejandro. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. (Proyecto de grado).

El 22 de Abril de 1991 un terremoto de magnitud de 7.5 en la escala de Richer sacudió la Costa Atlántica de Panamá y Costa Rica ocasionando graves daños en edificios, viaductos, instalaciones industriales, además de dañar las instalaciones necesarias para prestar los servicios públicos. En la comunidad de Río Banano la intensidad según la escala de Mercalli fue de IX. En esta zona se produjeron vibraciones tan fuertes que ocasionaron licuefacción de suelos, destruyendo completamente la carretera, tumbando palmeras y haciendo colapsar viviendas de madera e incluso de mampostería estructural; sin embargo ninguna de las 30 viviendas sufrió mayor daño, incluso en aquellos lugares en que había fisuras en el suelo<sup>10</sup>.

En los últimos años el arquitecto manizalita Simón Vélez contando con experiencia de 15 años en la construcción en Guadua se a destacado a nivel mundial por sus construcciones

---

<sup>10</sup> GUTIÉRREZ G., Jorge A. Comportamiento Estructural y resistencia sísmica de las viviendas de bambú. En : CONGRESO MUNDIAL DE BAMBÚ/GUADUA. (1º : 1992 : Pereira). Memorias I Congreso Mundial de Bambú/Guadua. Pereira : 1992. p. 161.

“arriesgadas” donde pone en practica un sorprendente conocimiento del comportamiento y resistencia de la guadua, puesta a prueba en construcciones como el pabellón Zeri construido para la feria mundial de Abril de 2000 en Expo-Hannover, Alemania.

**Fotografía 24. Pabellón del Zeri**



Fuente: URIBE, V. Maritza y DURAN, C. Alejandro. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. (Proyecto de grado).

Esta estructura fue construida fundamentalmente con Guadua aunque también cuenta con otras maderas como aliso, chusque, arboloco y sapan. Para obtener la licencia de construcción alemana se realizo una replica en la ciudad de Manizales, allí el alemán Klaus Steffens, director del Instituto de Estática Experimental de la Universidad de Bremen la sometió a pruebas de resistencia soportando cargas de 400 kilogramos por metro cuadrado. Se destacan sus edificaciones donde se construyen aleros de 8 m. brindado posibilidades estructurales y arquitectónicas que en materiales tradicionales resultarían antieconómicas, así mismo este arquitecto diseña sus uniones inyectando mortero a los tubos de bambú método que permite abrir las posibilidades de diseño en Guadua. “Los artesanos locales adaptaron rápidamente el nuevo método y una nueva generación de arquitectos empezó a diversificar las aplicaciones para edificios y proyectos grandes de construcción de vivienda por todo el país, pero no en casco urbano de las ciudades”<sup>11</sup>.

Según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS “los daños causados por el terremoto de 1999 generaron una interesante controversia entre quienes han defendido las

---

<sup>11</sup> 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.

técnicas tradicionales en Guadua y Bahareque encementado y quienes han sido sus detractores. Los primeros, han argumentado que aquellas que estaban bien construidas y que no habían sido contaminadas con muros de mampostería no reforzada u otros materiales demostraron sus bondades sismorresistentes y que las que se dañaron o colapsaron fueron aquellas que habían sido modificadas o se encontraban en malas condiciones de mantenimiento. Los segundos, han argumentado que los daños revelaron la alta vulnerabilidad de estas edificaciones, indicando que en su mayoría son edificaciones construidas sin una técnica adecuada y que por el contrario dichos daños ha sido la prueba de su deficiencia sismorresistente<sup>12</sup>.

Afortunadamente para Colombia hoy día la investigación adelantada por diferentes organismos entre los que se destacan la Universidad Nacional, la Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica y las Corporaciones Regionales del Viejo Caldas, empieza a dar conocer técnica y científicamente sus bondades y debilidades. Así su comportamiento de ha puesto a prueba en ambiciosos proyectos como el puente peatonal (Guaducto) construido para comunicar las facultades de Ciencias Ambientales y el Jardín Botánico, y las Facultades de Medicina y Bellas Artes de la Universidad Tecnológica de Pereira, el cual tiene una luz de 40 m, la Facultad de Arquitectura de la Universidad La Gran Colombia y el puente peatonal Jenny Garzón en la ciudad de Bogotá.

**Fotografía 25. Guaducto**



Fuente: GTZ Cooperación Alemana al Desarrollo. Guía para la construcción de puentes en guadua.

### **1.9.2 Diseño de paneles estructurales.**

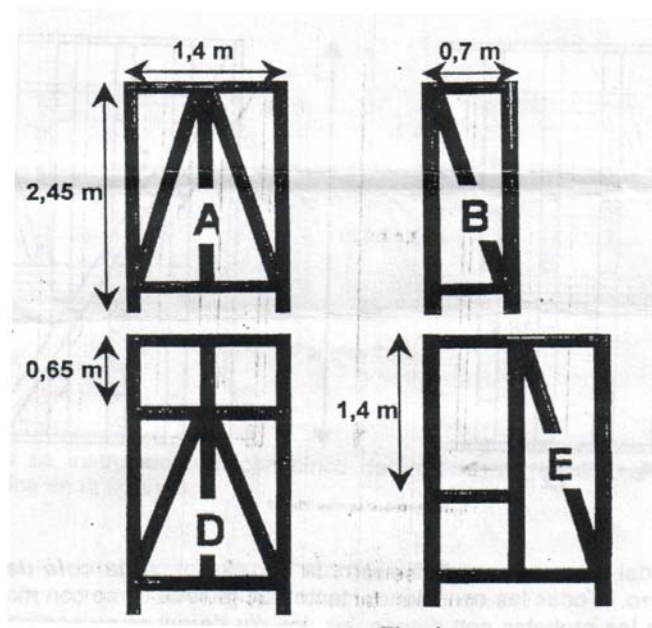
---

<sup>12</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Comportamiento sísmico de bahareque encementado de guadua y madera. Bogotá : Fondo para la reconstrucción y desarrollo del eje cafetero- FOREC, 2000. 42 p.

**Comportamiento sísmico de bahareque encementado de guadua y madera.** En el boletín técnico N° 56 realizado por la AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica) que tiene por nombre COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE BAHAREQUE ENCEMENTADO DE GUADUA Y MADERA<sup>13</sup> para el Fondo para la Reconstrucción y Desarrollo Social del Eje Cafetero-FOREC, se realiza un estudio sobre la resistencia y comportamiento de esta técnica constructiva y se analizan tres tipos de paneles:

- ◇ Paneles tipo 1. Consisten en un sistema de paneles modulares de esqueleto de guadua forrado con esterilla, horizontalmente, sobre la cual se clava una capa de malla de alambre con tejido hexagonal (malla de gallinero). El conjunto se revoca por ambas caras. Se ensayaron paneles con dos medidas de anchura y una medida de altura y diferentes configuraciones con aberturas, como se muestra en la figura siguiente:

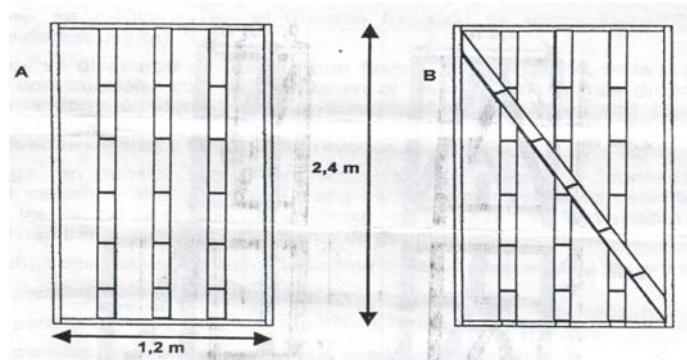
Figura 5. Paneles tipo 1



<sup>13</sup> Investigación que da origen al Manual de Construcción Sismorresistente de viviendas en bahareque encementado publicado en convenio AIS y la Fundación Corona.

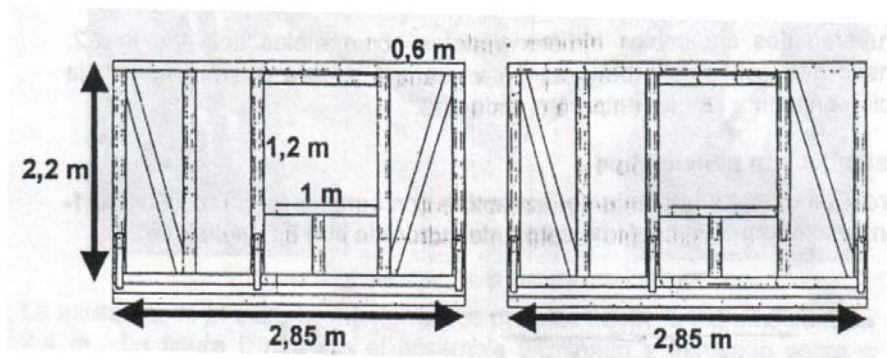
- ❖ Paneles tipo 2. Utilizados en construcción modular, estos paneles contienen un esqueleto cuyo marco es de madera aserrada. Los piederechos y las diagonales son en Guadua. El resto del sistema es similar al de los paneles tipo 1. Se ensayaron paneles con una anchura de 1.2 m y una altura de 2.4 m con y sin diagonales como se aprecia en la figura

Figura 6. Paneles tipo 2




- ❖ Paneles tipo 3. Estos paneles son de pared completa, con una longitud de 2.85 m y una altura de 2.2 m la construcción no es modular. Se construye la pared entera en guadua y esterilla y luego se revoca. Se ensayaron paneles con aberturas, con las dimensiones que se muestran en la figura. Todos los elementos son en Guadua y están conectados entre si por clavos.

Figura 7. Paneles tipo 3



- ✧ Resultados. Los paneles de tipo 1 resistieron cargas ultimas entre 5 kN/m y 12.8 kN/m y su rigidez oscila entre 0.14 kN/mm hasta 0.41 kN/mm, mientras que los paneles tipo 2 obtuvieron cargas ultimas entre 21.7 kN/m y 30.7 kN/m y su rigidez oscila entre valores de 0,38 kN/mm hasta 0.48 kN/mm los paneles tipo 3 se comportan linealmente hasta la falla que ocurre en promedio a los 59 kN/m y su rigidez se de 1.432 kN/mm.
  
- ✧ Conclusiones. Parece que el bahareque trabaja como material compuesto homogéneo en el nivel de intervalo elástico, con propiedades similares así sus materiales constitutivos varíen en alguna medida. También parece confirmarse que las conexiones entre guadua funcionan como articulaciones, ya sea atornilladas o clavadas y que proveen demasiada holgura, haciendo que las diagonales contribuyan al comportamiento del bahareque solo después de que los elementos sufren deformaciones excesivas.

Debe notarse que ninguno de los paneles ensayados colapsó. Todos mantuvieron su estabilidad aun cuando no recibían carga adicional. Por lo tanto, no se conoce realmente la ductilidad de los paneles. Algunos de ellos fueron deformados más allá de su punto de falla hasta alcanzar cerca de dos veces esta deformación, sin producir colapso.

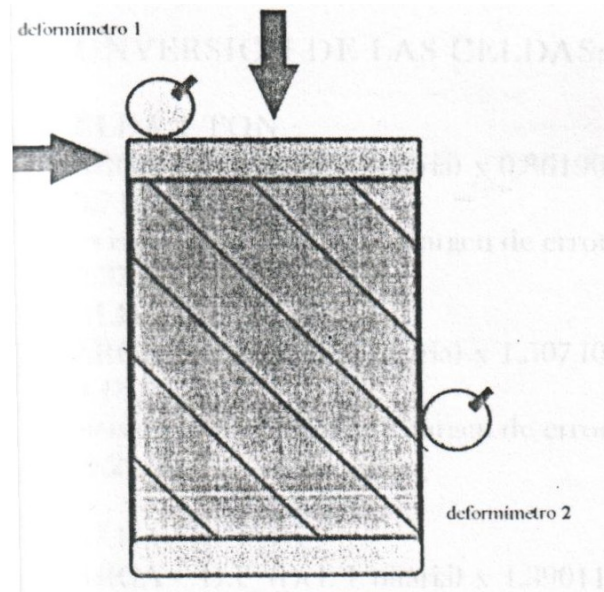
 **Diseño de paneles con láminas de guadua<sup>14</sup>.** El tipo de Guadua empleada es Macana, se obtiene latas de guadua que pasan por una cepilladora para dejarlas rectangulares logrando laminas hasta de 4 m. de largo 3,5 cm. de ancho y 1.5 cm. de espesor, se procede a pegar dos de estas laminas para constituir el marco del panel que también cuenta con rigidizadores, el recubrimiento se fabrica con laminas sencillas distribuidas diagonalmente por ambas caras del panel recubriendo toda la superficie de tal forma que una cara resista los esfuerzos de compresión y la otra los esfuerzos de tracción, estas se adhieren al marco con pegante colbón y utilizando dos clavos por lamina en las uniones según las técnicas utilizadas en paneles de madera. Se construyeron tres probetas de tamaño 1.20 m. de alto y 0.6 m. de ancho (la altura de la probeta corresponde a la mitad del tamaño real). Las probetas se solicitaron a carga vertical y horizontal simultáneamente,

---

<sup>14</sup> No se conoce el nombre ni los autores del proyecto.

transmitiéndose por medio de gatos hidráulicos con adaptación de celdas para medir carga, según la siguiente figura:

Figura 8. Aplicación de cargas



- ✧ Resultados. Los paneles estructurales resistieron hasta 900 Kg. de carga vertical y hasta 400 Kg. a cargas horizontales produciendo deformaciones verticales máx. de 8 mm y deformaciones horizontales máx. de 2 cm.
- ✧ Conclusiones. Se produjo desprendimiento de las láminas debido al pandeo producido por las cargas. No se produjo rompimiento ni destrucción del panel. Al retirar las cargas el panel recuperó su forma inicial.

## 2. BASES DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

### 2.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

La Guadua posee fibras longitudinales con una alta resistencia a la tracción. Se ha llegado a encontrar en ensayos<sup>15</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> y un esfuerzo último del orden de 4000 kg/cm<sup>2</sup>; por esta razón se conoce a la guadua como el acero vegetal.

La Guadua dependiendo del nivel de esfuerzos a los que se encontraba en el cultivo, proporciona distintas resistencias en su uso estructural.

Aunque las propiedades mecánicas de la Guadua dependen de la especie botánica a la que pertenece, la resistencia a compresión, tracción y flexión también dependen de la edad de corte de la planta, la sección del culmo que se utilice y de las propiedades físicas como son la humedad, la densidad básica, el peso específico y la densidad seca al aire.

Las condiciones de ensayo según las normas colombianas sobre maderas establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC y las normas de la American Society for Testing and Materials, ASTM.

#### 2.1.1 Propiedades físicas.

**■ Contenido de humedad (CH).** Cuando se emplea la Guadua para estructuras el CH debe ser menor al 25%, máximo permisible del 30%.

---

<sup>15</sup> CARVAJAL, Willian N.; ORTEGON, William O. y ROMERO, Carlos J. Elementos estructurales en bambú. Bogotá, 1981. Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Nacional de Colombia.

El valor del CH para la guadua de Aratocha<sup>16</sup> es: 12.16 %.

### **■ Peso específico aparente o densidad.**

El valor de la densidad promedio de la guadua tomada para el desarrollo del proyecto es: 0.8 gr/cm<sup>3</sup>

### **2.1.2 Propiedades mecánicas**

**■ Tracción, compresión paralela a la fibra y corte paralelo a la fibra<sup>17</sup>.** Dentro del convenio AIS FOREC se llevaron a cabo ensayos de tracción, compresión paralela a la fibra y corte paralelo a la fibra en el laboratorio de Recursos Forestales de la Universidad Nacional, sede Medellín, siguiendo la propuesta de normas internacionales para ensayos de bambú "INBAR. STANDARD FOR DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO".

Tabla 2. Esfuerzos últimos y admisibles

	<b>TRACCIÓN (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CORTE PARALELO A LA FIBRA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
$\sigma_{Promedio}$	535,1	438,7	68,7
Desviación Estándar	116	91.7	17
$\sigma_u$	352,5	280	43,1
$\sigma_{ADM}$	264	140	11

---

<sup>16</sup> GABRIELE, José Luis y HERRERA, Hernán Darío. Parámetros de diseño de elementos de guadua, cultivada en el municipio de Aratocha, Santander. Bucaramanga, 2004. Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.

<sup>17</sup> LÓPEZ, Luis Felipe y SILVA, Mario Felipe. Comportamiento sismorresistente de estructuras en Bahareque. Manizales, 2000. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Facultad de Ingeniería.

**Flexión y compresión perpendicular a la fibra.** Se comparan las dos variedades de guadua mas utilizadas en Colombia<sup>18</sup>.

Tabla 3. Esfuerzos en Guadua cebolla y macana

TIPO DE GUADUA	COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA		FLEXIÓN		COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA	
	$\sigma_U$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{adm}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_U$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{adm}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_U$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{adm}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Cebolla	35	17	170	60	290	115
Macana	23	11	175	60	343	135

**Módulo de elasticidad.** En el trabajo Determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la Guadua Castilla<sup>19</sup>, se demostró que las propiedades mecánicas a compresión de la Guadua, varían inversamente con el contenido de humedad por debajo del punto de saturación de la fibra (PSF) y permanecen constantes por encima del mismo, siendo éste para todos los grupos de edades de la guadua de 23.03 ± 2.36% de contenido de humedad (CH).

Tabla 4. Módulo de elasticidad a compresión

EDAD DE LA GUADUA	MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA (Kg/cm <sup>2</sup> )		
	CH = 12%	CH < PSF	CH > PSF
1 a 3 años	105804	$151765 \times 10^{-0.01304314 \times CH\%}$	66125
3 a 5 años	121528	$262775 \times 10^{-0.027908912 \times CH\%}$	67897
Más de 5 años	101427	$183202 \times 10^{-0.021398072 \times CH\%}$	58333

<sup>18</sup>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.

<sup>19</sup>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.

En su trabajo de grado los autores Sánchez y Prieto<sup>20</sup> determinaron el módulo de elasticidad de la guadua sometida a flexión ( $\text{kg/cm}^2$ ) relacionados con la luz libre, valores que se presenta a continuación:

Tabla 5. Módulo de elasticidad a flexión

MÓDULO DE ELASTICIDAD ( $\text{Kg/cm}^2$ )	LUZ LIBRE	
	L < 1.5 m	L > 1.5 m
Mínimo	30000	60000
Promedio	65000	115000

El valor para las propiedades mecánicas de la guadua de Aratoca<sup>21</sup> se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 6. Valores de esfuerzos para la guadua de Aratoca

SOLICITACIÓN	ESFUERZO ULTIMO ( $\text{Kg/cm}^2$ )	FACTOR REDUCCION POR CALIDAD	FACTOR REDUCCION POR TAMAÑO	FACTOR REDUCCION POR SERVICIO Y SEGURIDAD	FACTOR REDUCCION POR DURACION DE CARGA	ESFUERZO ADMISIBLE ( $\text{Kg/cm}^2$ )
COMPRESION PARALELA	393.79	0.80	-----	1.60	1.25	157.52
COMPRESION PERPENDIC.	17.37	-----	-----	1.60	-----	10.86
TRACC. PARA. SIN NODO	2505.60	0.80	0.90	1.20	1.15	1307.27
TRACC. PARA. CON NODO	509.57	0.80	0.90	1.20	1.15	265.86
CORT. PARAL SIN NODO	59.05	-----	-----	4.00	-----	14.76
CORT. PARA CON NODO	59.35	-----	-----	4.00	-----	14.84
CORTANTE PERPENDIC.	82.53	-----	-----	1.60	-----	51.58
FLEXION	288.36	0.80	0.90	1.15	2.00	90.27

MODULO DE ELASTICIDAD ( $\text{Kg/cm}^2$ ) 107244  
 MODULO DE CORTANTE ( $\text{Kg/cm}^2$ ) 13167

El valor tomado para los cálculos es:  $78560 \text{ Kg/cm}^2$ .

<sup>20</sup> SÁNCHEZ, Jorge y PRIETO, Edwin. Comportamiento de la Guadua Angustifolia sometida a flexión. Bogotá 2000. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil.

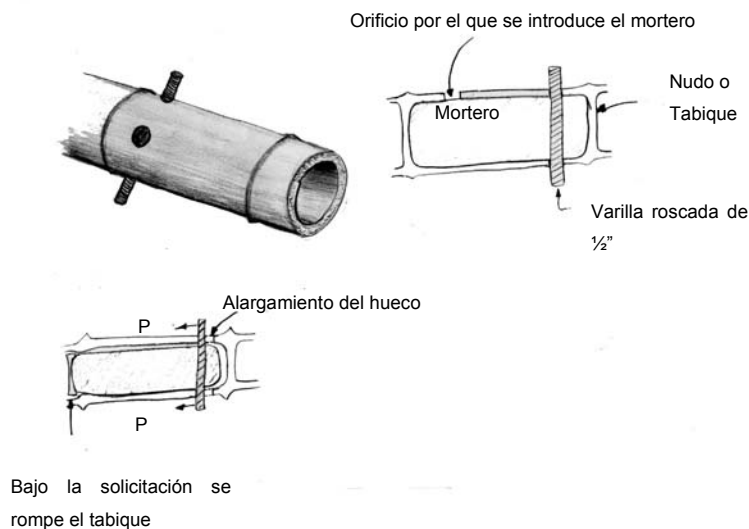
<sup>21</sup> GABRIELE, Op. cit., p. 159

## 2.2 UNIÓN TIPO SIMÓN VÉLEZ

En la unión Simón Vélez la Guadua trabaja principalmente a tracción, esta unión consta de un cañuto que se atraviesa con un perno de  $\frac{1}{2}$  pulgada, después se inyecta mortero al cañuto, esto con el fin que, al someterse la unión a esfuerzos de tensión el mortero coloque a trabajar el nudo. Este soporta los esfuerzos junto con la pared de la Guadua que trabaja a cortante por efecto del perno de  $\frac{1}{2}$  pulgada que le transmite parte de la carga aplicada. La falla se da por rotura del tímpano y falla de cortante por el esfuerzo de corte paralelo a la fibra que concentra el perno sobre la pared de la Guadua. En este caso no se aprovecha la verdadera capacidad de la Guadua debido a que la adherencia mortero-guadua es muy baja. Esta unión tiene como inconveniente su peso pero es gracias a ella que se abren las posibilidades de construcción sismorresistente en Colombia.

La estudiante Jenny Garzón<sup>22</sup> de la facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional investiga la unión de Simón Vélez encontrando resistencias de 3000 kg por cada cañuto relleno de mortero.

Figura 9. Unión tipo Simón Vélez



<sup>22</sup> GARZÓN CAICEDO, Jenny Varina. Optimización de estructuras en Guadua. Santafé de Bogotá, 1996. Trabajo de grado (Arquitecta). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes. Departamento de construcción; p. 106.

### 2.3 ANÁLISIS DE CARGAS EN ESTRUCTURAS DE MADERA

Las recomendaciones limitaciones y esfuerzos admisibles presentados en este proyecto se realizaron según los procedimientos convencionales de análisis lineal y elástico. La determinación de los efectos de las cargas, (deformaciones, fuerzas, momentos, etc.) en los elementos estructurales debe efectuarse con hipótesis consistentes y con los métodos aceptados en la buena practica de la ingeniería.

Se utiliza el método de esfuerzos admisibles porque se relaciona de forma más directa con el diseño mismo pudiéndose asociar las secciones de la estructura a las condiciones reales de carga ayudando a entender el comportamiento de la estructura en términos de esfuerzos y deformaciones y puede apreciarse los cambios en las condiciones relativas de seguridad al cambiar parámetros como el tipo de material y el dimensionamiento de la sección transversal proporcionando un análisis más simple al alcance de personas con instrucción limitada en matemáticas y trabajo de investigación en ingeniería<sup>23</sup>.

La combinación de cargas para esfuerzos de trabajo, según el titulo B de las NSR-98, son

D

D + L

D + W

D + 0.7E

D + L + W

D + L + 0.7E

### 2.4 DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN GUADUA

---

<sup>23</sup> PARKER, Harry y AMBROSE, James. Diseño simplificado de estructuras en maderas. México : Limusa , 2000. p. 15.

**2.4.1 Aplastamiento.** Los elementos que se encuentran sometidos al aplastamiento (compresión perpendicular a la fibra) en los puntos críticos se diseñan de acuerdo al capítulo G.3.4 de las NSR-98:

$$N_{ADM} = F'_p * A_N$$

$F'_p$  = Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra.

$A_N$  = Área neta de contacto.

Para garantizar que la Guadua falle por aplastamiento de las fibras a compresión perpendicular, el cañuto sobre el que se aplica la fuerza debe estar relleno de mortero.

**2.4.2 Compresión axial.** Para la prueba de resistencia de los paneles es importante tener en cuenta la esbeltez de cada uno de sus elementos, ya que en el momento de la sollicitación puede fallar debido a que no cumplen con la relación necesaria para su buen comportamiento.

Para determinar la relación de esbeltez en una sección tubular como es el caso de la Guadua, tenemos:

$$\lambda = \frac{l_E}{r}$$

$l_E$  = Longitud efectiva, calculada por:

$$l_E = l_U * k$$

$l_U$  = Longitud no soportada lateralmente de la columna.

$k$  = Coeficiente de longitud efectiva

$r$  = Radio de giro, determinado por la ecuación:

$$r = \frac{1}{4} \sqrt{d_E^2 + (d_E - (2 * t))^2}$$

$d_E$  = Diámetro mayor de sección de la Guadua.

$t$  = Espesor de la pared de la Guadua.

Se utiliza una ecuación experimental propuesta por el National Forest Products Laboratory de Madison, Wisconsin, EE.UU. para columnas intermedias que fallan por una combinación entre aplastamiento y pandeo esta ecuación también es aplicable para columnas cortas ya que el error en los cálculos es mínimo.

En el caso que  $\lambda < \lambda_o$ , se cataloga como columnas cortas o intermedias y el esfuerzo último a compresión está dado por la expresión:

$$\sigma_{ULT} = \sigma_B \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{\lambda}{\sqrt{12} * \lambda_o} \right)^4 \right]$$

En el caso que  $\lambda > \lambda_o$ , se cataloga como columnas largas y el esfuerzo último a compresión se calcula con la ecuación:

$$\sigma_{ULT} = \frac{\pi^2 * E}{\lambda^2}$$

Donde  $\lambda_o$ :

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{\pi^2 * E}{\frac{2}{3} * \sigma_B}}$$

E y  $\sigma_B$  están relacionados con el contenido de humedad de la Guadua por medio de las expresiones<sup>24</sup>:

$$E = 146249.95 * e^{-0.044402 * CH\%} \quad y \quad \sigma_B = 658.94 * e^{-0.015586 * CH\%}$$

Como el diseño de estructuras en Guadua es por el método de esfuerzos admisibles, es por esto que el esfuerzo último es afectado por los siguientes factores de seguridad.

FS = Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad. (FS = 1.6)

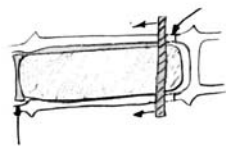
FDC = Factor de duración de carga. (FDC = 1.25)

$$\phi = \frac{1}{FS * FDC}$$

$$\sigma_{ADM} = \phi * \sigma_{ULT}$$

**2.4.3 Corte paralelo a la fibra.** Esta sollicitación es inducida por el perno, el cual atraviesa de lado a lado el cañuto. El área resistente está dada por la distancia desde el perno al borde libre del elemento por el espesor de la pared del mismo.

Figura 10. Corte paralelo a la fibra



---

<sup>24</sup> URIBE, Maritza y DURAN, Alejandro. Estudio de elementos solicitados a compresión armados con dos o mas guaduas. Bogotá 2002. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil.

$$F_{ADM_p} = \sigma_{ADM_p} * A$$

- $F_p$ : Fuerza de corte paralelo a la fibra.  
 $\sigma_p$ : Esfuerzo admisible de corte paralelo a la fibra.  
A: Área resistente al corte paralelo a la fibra.

## 2.5 MÉTODO DE ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA EN GUADUA CONSTITUIDA POR DIAFRAGMAS HORIZONTALES Y MUROS DE CORTE.

El comportamiento de una estructura en Guadua depende en gran medida de la rigidez relativa de los diafragmas horizontales y de los muros de corte. Si en una estructura simétrica los diafragmas horizontales fueran infinitamente rígidos la fuerza tomada por cada muro de corte sería proporcional a su rigidez, por otro lado si los diafragmas horizontales no tuvieran rigidez cada muro soportaría separadamente la carga correspondiente a su área de influencia. En una estructura de material flexible como la Guadua el comportamiento real esta entre los dos casos acercándose mas al primero.

El análisis de diafragmas horizontales flexibles es complejo, porque aparte de suponer que cada muro de corte toma la carga horizontal resultante producto de las cargas verticales actuantes en su área de influencia, es necesario analizar el efecto de cierta rigidez en los diafragmas horizontales que influya en la distribución de las cargas laterales sobre el panel ya que en estructuras donde el centro de rigidez este alejado del centro de masa<sup>25</sup> se producirán efectos torsionales críticos que pueden hacer colapsar la estructura por sobre carga en los muros perimetrales.

Para edificaciones pequeñas en las que se puede limitar la distancia entre muros (4 m.) y distribuirlos más o menos uniformemente es posible suponer que la estructura del techo actúa como un diafragma rígido, esto permite distribuir la fuerza cortante total proporcionalmente a las rigideces de los muros.

---

<sup>25</sup> Caso común en estructuras no simétricas con una ineficiente distribución de paneles y grandes distancias entre estos.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Con el objeto de recolectar la mayor cantidad de información posible para el desarrollo del proyecto se realizó un viaje a la zona del eje cafetero en donde se participó en un seminario taller “Avances en la Investigación sobre Guadua” realizado en la ciudad de Pereira. Igualmente se consultaron archivos gráficos de construcciones a nivel nacional en Guadua, proyectos de investigación sobre el tema realizados en Colombia, además del asesoramiento de ingenieros y arquitectos con experiencia en el cultivo, corte, proceso de secado, de curado, inmunización, y construcción con Guadua en la zona cafetera.

#### 3.2 SELECCIÓN DEL LUGAR DE CORTE

Para esta selección se realizó una lista preliminar de posibles lugares de corte entre los que se consideraron guaduales en Ocamonte, vereda Las Vueltas de Curití, San Vicente de Chucurí, San-Gil vía a Mogotes, San-Gil vía a Barichara, Aratoca, la mesa de los Santos y la antigua plaza de ferias de Bucaramanga. Basados en factores como la altitud, transporte, orden público, calidad y costo de material, facilidad de acceso y corte así como cantidad de Guadua en el guadual se fueron descartando guaduales hasta que solo quedaron dos alternativas; el guadual de Aratoca y el de la antigua plaza de feria de Bucaramanga.

#### 3.3 UBICACIÓN

**3.3.1 Aratoca.** El guadual se localiza en el municipio de Aratoca en la finca del señor Efraín Pedrosa a unos 15 minutos de la cabecera municipal, finca que se encuentra a 1800 m.s.n.m. a una temperatura promedio de 18° C y cuyo terreno es escarpado; el guadual se encuentra en medio de un cafetal cerca de una pequeña charca de origen artificial que se alimenta por medio de agua de una manguera.

**3.3.2 Bucaramanga.** El lugar de donde se extrae el material se localiza en el barrio Nápoles al occidente de la ciudad, aproximadamente a un kilómetro de la antigua plaza de ferias de Bucaramanga, perteneciente a un predio de la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB, en el vivero Buenos Aires.

#### **3.4 CARACTERÍSTICAS DEL GUADUAL**

**3.4.1 Aratoca.** El guadual no fue cultivado por lo que no se puede precisar su edad, se sabe que tiene más de 10 años según el propietario de la finca; cuenta con aproximadamente 300 tallos, es un guadual que no ha sido tratado para propósito de comercialización como la totalidad de guaduales del departamento, tiene de 2% al 5% de tallos secos, se encuentran tallos entre 7 y 15 cm. de diámetro y 14 m. de altura aproximadamente; presenta corte de tallos hechos indebidamente, crece en un suelo propio de cafetales. Según el criterio de las manchas blanquecinas que indican la edad del tallo un 50% del guadual estaba “hecho” en el momento del corte. Debido a que no ha sido tratado, los tallos crecen caprichosamente, y al encontrarse unos con otros provocan cambios de dirección en el crecimiento que impide encontrar tallos rectos que sean aprovechables en largos tramos.

**3.4.2 Bucaramanga.** Como en el guadual de Aratoca, éste no fue cultivado. Se encuentra a la orilla de una quebrada de aguas negras, por lo que se cree que siempre ha tenido buenas condiciones para su crecimiento. No se le ha realizado mantenimiento, por lo cual se encuentran Guaduas secas y sobremaduras. Además se observa que se le ha extraído de forma indebida, es decir no hay control a la hora del corte y por lo tanto el tallo cortado no genera renuevos.

#### **3.5 CLASE DE GUADUA**

La Guadua no presenta ninguna de las características con las que se diferencian en el eje cafetero, pero teniendo en cuenta que por los espesores de pared presentados y la configuración de las fibras se asemeja a lo que se conoce como Guadua Cebolla.

### **3.6 OBTENCIÓN DE LA GUADUA**

**3.6.1 Selección de Guaduas aptas.** Esta actividad se realiza unos días antes del corte. Se seleccionan los tallos que presentan manchas blancuzcas indicando que están hechos y listos para el aprovechamiento en el campo de la construcción, teniendo prioridad por aquellos que son más rectos, mas altos y cuyos diámetros sean los mayores. Así también es imprescindible observar que los tallos en el momento en que se corten queden de pie recostados sobre otros tallos para poder realizar el curado en la mata, ya que si estos al cortarse caen al piso es imposible levantarlos nuevamente teniendo en cuenta que un solo tallo en el cultivo pesa mas de 500 kg y mide mas de 14 mts. Una vez escogidos los tallos se señalan con cinta reflectiva debido a que el corte se realizará en horas de la madrugada.

**3.6.2 Corte en la mata.** En Aratoca y Bucaramanga el corte se realizo 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 los autores del proyecto. Entre el equipo y herramientas utilizadas en el corte tenemos motosierra, machetes, lámparas de gasolina, instalación eléctrica, bombillos, hacha, laso y linternas entre otros.

Cuando se utiliza la motosierra se debe tener especial cuidado en no dejar que se “entrape”, lo cual sucedió en este caso y hubo que seguir el corte con hacha y machete cuidando que se cortaran por encima del primer nudo, después de cortadas se baja el tallo de la mata y se coloca sobre una roca de tal manera que este quede alejado de la humedad del suelo para que empiece el proceso de curado en la mata que duraría aproximadamente un mes. Durante el corte tres tallos cayeron al piso, estos tallos se cortaron en pedazos de tres y cuatro metros y se colocaron a secar recostados sobre un árbol.

**3.6.3 Seccionamiento de los tallos.** Según la literatura, la Guadua después de un mes de cortada en la mata debía perder la mayor parte de su humedad adquiriendo las características de la madera seca, en este caso la Guadua duro curándose en la mata por espacio de un mes después del cual puede decirse que seguía estando algo verde; se procede al segundo corte que consistía en dividir el tallo que estaba secándose en la mata en secciones de tres a cuatro metros para poder sacar la Guadua del gradual. Antes de

cortar los tallos se tenían que bajar uno por uno hasta que quedaran en una posición horizontal cómoda para proceder a cortarlos con el machete. Para realizar esta actividad se amarraban con laso y se halaban entre tres o cuatro personas en una dirección de tal manera que al tirarlos no interfirieran tallos vivos de la mata (en un guadual no tratado donde dos tallos podían no estar separados mas de 10 cm. se comprende la dificultad de tal operación). Una vez en el suelo los tallos se cortan para ser cargados al hombro por un camino de 100% de pendiente hasta el lugar donde se colocarían en el camión que los transportaría hasta el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Industrial de Santander.

### **3.7 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA**

Ya con la información fotográfica que se recopiló, se extractaron los paneles más comunes y se identificaron 35 tipos como los más representativos en la construcción de vivienda; en el anexo A se presenta una figura de cada uno de ellos y se determina la cantidad de material que se utiliza para su construcción así como su utilidad, área y peso del mismo.

Luego de efectuado el censo se realizó una preselección en donde se descartaron los paneles de mayor complejidad en su construcción ya que suponían un mayor tiempo de ensamble, mayor cantidad de material y una configuración mas conforme a motivaciones estéticas muchas veces caprichosas que no suponían un diseño estructural, por ejemplo paneles sin elementos que soportaran cargas laterales como las diagonales no se tuvieron en cuenta y paneles que por metro cuadrado necesitaban una cantidad considerable de Guadua, además de los paneles que describen otro tipo de sistema estructural como el aporticado el cual disminuye la flexibilidad y capacidad de disipación de energía que se consigue con el sistema propuesto<sup>26</sup>.

Al tener en cuenta los parámetros anteriores se seleccionaron para el análisis los paneles número: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34 y 35, descritos en el anexo A.

---

<sup>26</sup> El sistema aporticado exige un mejor conocimiento del material para efectuar un diseño confiable ya que las sollicitaciones a las que se debe diseñar son más complejas. Además el método de muros de corte tiene como antecedente el diseño de estructuras en madera como el Manual de diseño para maderas del grupo andino.

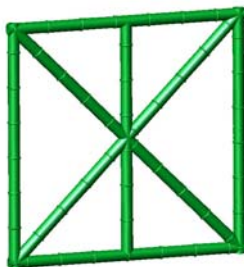
Estos paneles se modelaron por medio del programa de diseño estructural SAP2000 teniendo en cuenta las fuerzas axiales de tensión y compresión más críticas generadas en cada uno de ellos luego de aplicarles una carga unitaria distribuida vertical y una puntual horizontal que representan las distintas solicitaciones. Para realizar la comparación entre los paneles se presenta el beneficio, como la fuerza admisible de las dos solicitaciones más críticas sobre los elementos del panel; compresión y tensión (que provoca cortante paralelo a la fibra en el plano del pasador), sobre la carga actuante. El costo se da en términos de los precios de materiales necesarios para la construcción y la mano de obra. El procedimiento en detalle se presenta en el anexo A.

Para el hallar el beneficio se debe tener en cuenta que los elementos sometidos a compresión tienen diferentes fuerzas admisibles ya que estos dependen de su longitud, como se observó anteriormente en la teoría de columnas.

De este análisis se seleccionaron las tres mejores propuestas para cada tipo de panel, según el anexo A. Estos son: paneles muro N°s 11, 14 y 34 con una relación beneficio costo de 1.504, 1.429 y 1.500 respectivamente; paneles puerta N°s 18, 32 y 33 con una relación beneficio costo de 0.695, 0.829 y 0.804 respectivamente; paneles ventana N°s 9, 10 y 35 con una relación beneficio costo de 0.659, 0.503 y 0.600 respectivamente.

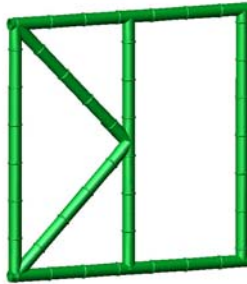
Para los paneles tipo muro primero se descartó el N° 14 por tener la relación más baja, así como el N° 11 que aunque teniendo la relación beneficio costo más alta, es más dispendioso su ensamble a la hora de construirlo teniendo en cuenta la configuración que presenta. Por lo anterior el panel tipo muro que se analizará será el N° 34.

Figura 11. Panel tipo muro



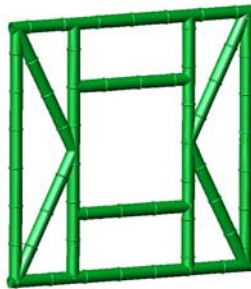
Para los paneles tipo puerta primero se descartó el N° 18 por tener la relación más baja, así como el N° 32 que aunque teniendo la relación beneficio costo más alta, es menos rígido, permitiendo mayores deformaciones. Por lo anterior el panel tipo puerta que se analizará será el N° 33.

**Figura 12. Panel tipo puerta**



Para los paneles tipo ventana primero se descartó el N° 10 por tener la relación más baja, así como el N° 9 que aunque teniendo la relación beneficio costo más alta, es menos rígido, teniendo en cuenta que los efectos de flexión sobre los piederechos son inadmisibles. Por lo anterior el panel tipo ventana que se analizará será el N° 35.

**Figura 13. Panel tipo ventana**



Los paneles escogidos representarán los tres módulos básicos de una unidad habitacional; un panel puerta, un panel muro y un panel ventana.

### 3.8 HIPÓTESIS DEL MODELO

Al no contar con el material suficiente para la ejecución de los ensayos se decidió realizarlos de tal manera que las cargas aplicadas en este, fueran las halladas del análisis de una hipótesis teórica representando así unas condiciones reales producto del diseño de un tipo de vivienda específico y poder conocer las cargas (viva, muerta, viento y sismo) a que estarían sometidos los paneles. Por esta razón debe realizarse el prediseño de una construcción para tener la oportunidad de, una vez ensayados los paneles y observado la forma de falla de sus uniones así como de sus deformaciones y el comportamiento en conjunto de estos representado por su rigidez, hacer una comparación entre el diseño teórico y el comportamiento real luego de las pruebas mecánicas, y así saber si las condiciones reales de trabajo se acercan a las de la hipótesis inicial.

La propuesta de la estructura, el análisis de cargas y el diseño de sus elementos se encuentran en el anexo B

### 3.9 CONSTRUCCIÓN DE LOS PANELES

**3.9.1 Tipo de unión empleado.** El tipo de unión empleado es la unión Simón Vélez que propone; una unión atravesando una varilla roscada por un cañuto, este se rellena posteriormente con mortero relación 1:4 con una resistencia de 3000 Kg. por cada cañuto relleno de mortero en la unión del elemento trabajando a tensión<sup>27</sup>. En este caso se utilizo varilla de 3/8" grado N° 2.

**3.9.2 Paneles.** Según la propuesta de vivienda diseñada los paneles a estudiar deben tener 2 mt de alto por 2 mt de ancho. Para la construcción se utilizan las siguientes herramientas: sierra San José, cimbra, escuadra, flexómetro, serrucho, segueta, plomada, taladro, juego de sierra copas, formón, escofina, llave fija, alicates.

---

<sup>27</sup> GARZÓN, Op. cit., p. 94.



**Fotografía 28. Corte de picoeflauta**



**Fotografía 29. Picoeflauta**



Ya con todos los elementos que conforman cada uno de los paneles listos para ensamblar, se procede a realizar los orificios para los pernos y los ganchos que sujetarán el panel.

Para estos orificios se usa una broca de  $\phi$  3/8" y una longitud de 35 cm. La distancia al borde desde los orificios tiene un valor aproximado de 20 cm. según Sandra Clavijo y David Trujillo: "es importante garantizar una distancia al borde de por lo menos 10D y preferiblemente de 15D para que la resistencia del material sea mayor"<sup>28</sup>. Para una varilla de un diámetro de 0.95 cm. la distancia mínima al borde sería de 14.28 cm.

**Fotografía 30. Taladro y formón**



**Fotografía 31. Perforando para los pernos**



---

<sup>28</sup> CLAVIJO ORTIZ, Op. cit., p. 105.

Ya listo el pretaladrado se inicia con la actividad de armada del panel, para lo cual antes se debió cortar los pernos con las longitudes necesarias y doblar los ganchos que sujetarán un elemento con otro. En los puntos donde el perno atraviesa una diagonal se instalaron acoples de sintético para que la arandela empalmara correctamente y no se doblara al ajustarla.

**Fotografía 32. Corte de pernos**



**Fotografía 33. Colocación de pernos**



**Fotografía 34. Transporte de panel armado**



**Fotografía 35. Elemento sintético**



Teniendo armados los paneles se perforan los orificios de  $\phi 1 \frac{1}{4}$ " con una sierra copa adecuada para inyectar el mortero, para realizar esta actividad se utiliza un embudo y un madero que ayuda a empujar la mezcla hacia adentro del cañuto.

Fotografía 36. Orificios para inyectar mortero



Fotografía 37. Inyección de mortero con embudo



Fotografía 38. Inyección de mortero



Fotografía 39. Mortero en las soleras



Con los cañutos necesarios rellenos de mortero ya fraguado quedan los paneles dispuestos para las pruebas de carga.

Fotografía 40. Paneles listos para pruebas mecánicas



El corte del material y la construcción de los paneles se realizaron en las instalaciones del laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil de la UIS.

### 3.10 DISEÑO DEL MECANISMO DE PRUEBA

El diseño de este mecanismo se pensó de tal forma que transmitiera las solicitaciones de carga a las que iba a estar sometido el elemento panel, en una construcción real; carga vertical debida a las cargas muertas y vivas transmitidas por la cubierta a través de las cerchas según la configuración de la propuesta de vivienda y la carga lateral provocada por sismo.

El mecanismo de prueba se instaló en el marco perteneciente a la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS, que queda junto al laboratorio de Hidráulica.

El dispositivo de transmisión de carga horizontal consiste en un gato hidráulico con un manómetro adaptado, que fue calibrado por medio de la maquina de pruebas universal marca Trebel con capacidad para 40 Ton, en el laboratorio de resistencia de materiales de la escuela de ingeniería civil de la UIS, de tal manera que la carga aplicada se pudiera leer en el manómetro. Para apoyar este gato se instaló una base firme compuesta por una sección de riel y un piedeamigo.

**Fotografía 41. Sección de riel**



La carga vertical se aplica por medio de peso muerto (cilindros de prueba de concreto 180 Kg. por metro lineal) para un total de 360 Kg. por panel, estos cilindros son montados al panel por medio de una polea, sobre un tablón de madera (con elementos transversales necesarios para soportar el peso) que a su vez estaba unido al elemento que sirve de solera superior del panel.

**Fotografía 42. Tablón con elementos transversales**



**Fotografía 43. Carga vertical**



Debido a las altas cargas horizontales que se espera resistan los paneles estos deben estar asegurados en su solera inferior de tal forma que el panel no se deslice en sentido de la fuerza horizontal ni se levante debido a la misma. Además de asegurar el marco con otro paral para evitar que este se mueva en la dirección contraria de aplicación de la fuerza

Fotografía 44. Apoyo contra deslizamiento



Fotografía 45. Apoyo contra volcamiento



La platina mostrada en la fotografía 20 tiene unas dimensiones de 2" x 1/4",  $F_y$ : 253 MPa,  $F_u$ : 408 MPa y tiene una resistencia a la tensión de:  $\phi P_n$ :  $0.9 \cdot F_y \cdot A_g$ .

$$\phi P_n = 0.9 \cdot 253 \cdot 322.58 \Rightarrow \phi P_n = 73.45 \text{ KN} \Rightarrow \phi P_n = 7.34 \text{ Ton}$$

lo cual garantiza el apoyo fijo en la solera inferior de cada panel.

Fotografía 46. Mecanismo de prueba



### 3.11 ENSAYOS

El procedimiento consiste en cargar verticalmente cada elemento panel y luego aplicar la carga horizontal en cuatro ciclos, provocando la fatiga y luego llevándolo a la falla registrando la deformación horizontal del panel por medio de un deformímetro en la solera superior y midiendo el desplazamiento relativo de los piederechos por medio de reglillas de precisión.

Fotografía 47. Aplicación de carga



**Fotografía 48. Reglillas de precisión**



**Fotografía 49. Deformímetro**



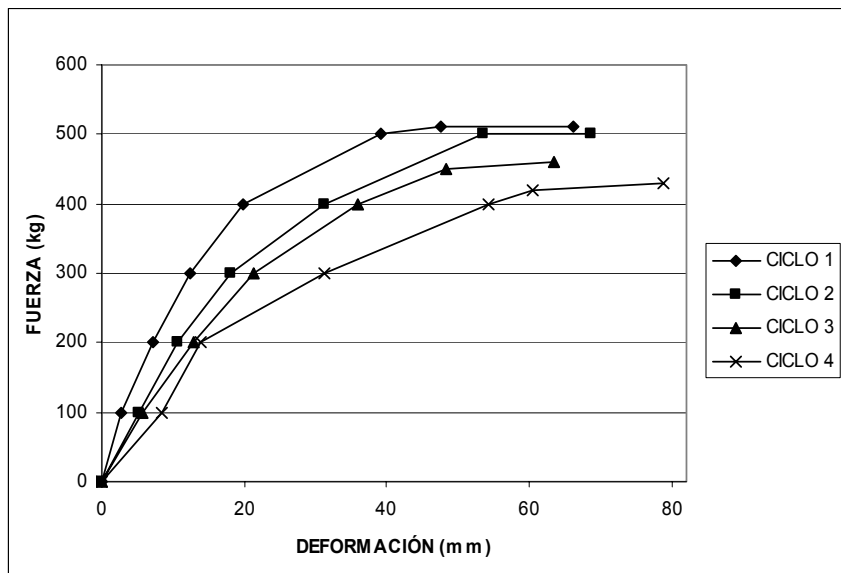
La carga vertical se colocó levantando los sacos de fibra, que contenían seis cilindros cada uno, con un laso por medio de una polea instalada en la parte superior del marco y halándola con un automóvil. Para estabilizar los paneles se apoyaron lateralmente en una mesa de acero, permitiendo el desplazamiento libre en el sentido de la carga horizontal. Se observaba atentamente los daños en el panel a medida que se aplicaba la carga y se fotografiaban las fallas para la realización del censo. La lectura en el manómetro del gato se realizó cada 100 Kg.

## 4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS

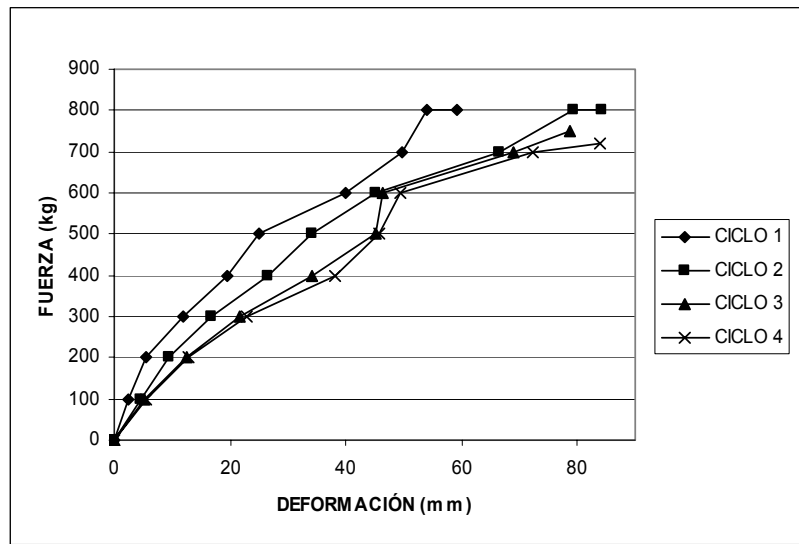
A continuación se presentan los resultados del comportamiento observado en los elementos luego de las pruebas mecánicas realizadas. Cada gráfica contiene la relación entre la carga aplicada y la deformación para cada ciclo evaluado.

Gráfica 2. Relación fuerza-deformación, panel tipo puerta



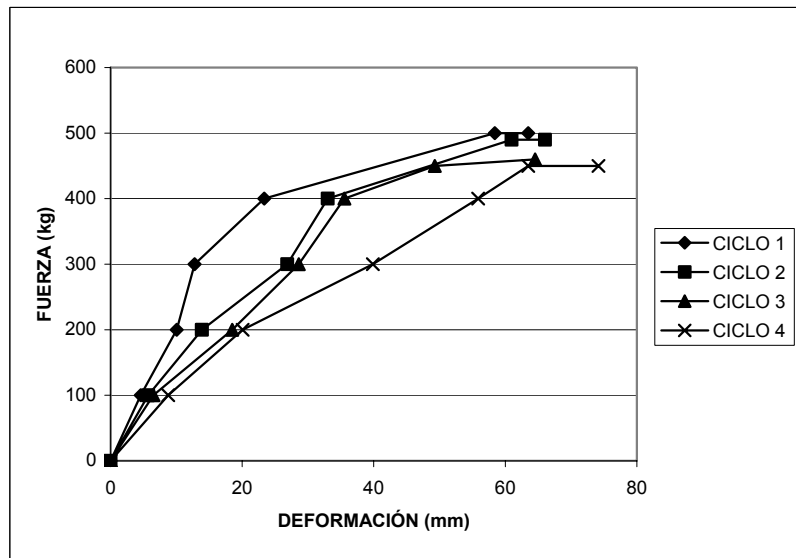
Para el cuarto ciclo, el panel se lleva hasta la carga última la cual se alcanzó para un valor de carga de 570 Kg. y una deformación de 30.3 cm.

Gráfica 3. Relación fuerza deformación, panel tipo muro



Para el cuarto ciclo, el panel se lleva hasta la carga última la cual se alcanzó para un valor de carga de 900 Kg. y una deformación de 22.5 cm.

Gráfica 4. Relación fuerza-deformación, panel tipo ventana



Para el cuarto ciclo, el panel se lleva hasta la carga última la cual se alcanzó para un valor de carga de 540 Kg. y una deformación de 31.7 cm.

## **4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**4.2.1 Fatiga.** Debido a los ciclos de carga horizontal y a la carga vertical constante, los paneles presentaron fatiga tanto del material Guadua como de los elementos de acero y de mortero, teniendo como punto crítico el comportamiento de los pasadores en las diagonales sometidas a tensión. Al someter la Guadua a cargas fluctuantes, en vez de cargas sostenidas, su resistencia a la fatiga, al igual que para otros materiales disminuye en relación con su resistencia estática.

Un efecto directo de la acción de los ciclos de carga es un incremento en las deformaciones para estas, con respecto a las que produjo la misma carga en el ciclo inmediatamente anterior (asemejándose a un ciclo de histéresis), esto debido a que al retirar la carga actuante los elementos paneles no regresan a su posición inicial, porque sus elementos de unión después de cada ciclo incrementan su deformación.

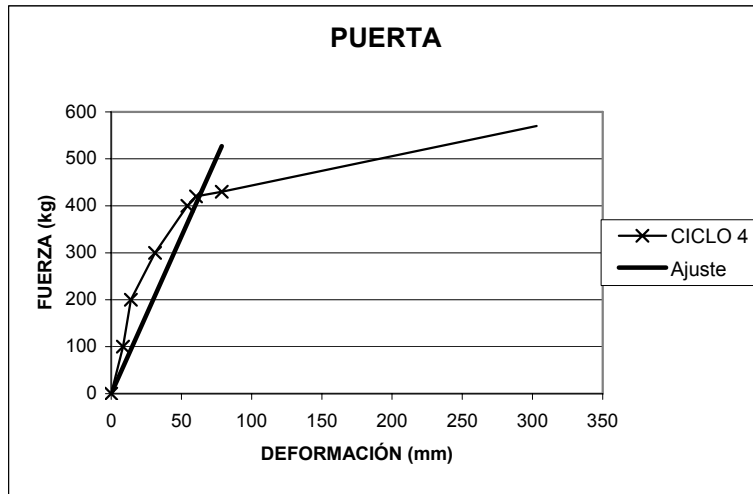
La importancia del efecto que produce la fatiga entre el primer y el último ciclo de carga se evidencia en la disminución de la resistencia que es de aproximadamente un 18% para el panel puerta, 10% para el muro y 10% para el ventana.

**4.2.2 Límite proporcional.** En las gráficas 2, 3, y 4 se observa que para cada ciclo en los tres tipos de paneles, el último valor de carga no representa incremento con respecto al valor anterior y si están separados por una gran deformación, lo que da una idea del rango en donde se encuentra el límite proporcional.

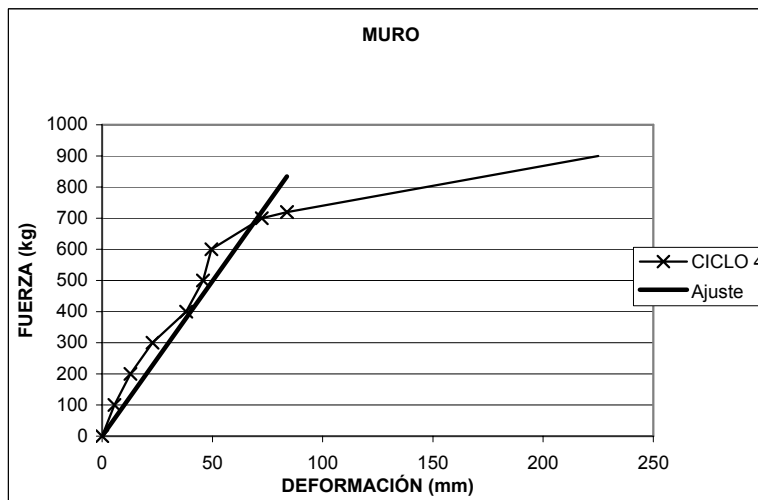
Con los datos de cargas últimas para cada panel y los datos obtenidos del último ciclo, se construye una grafica y luego se traza una línea de tendencia que representa el rango de deformaciones de los elementos donde existe una proporcionalidad con respecto a la carga para cada panel.

El límite proporcional se toma como la carga en el punto donde la línea de tendencia corta la curva carga vs. deformación del panel. Así como se observa en las gráficas 5, 6 y 7 el límite proporcional para cada uno de los paneles es: panel puerta 425 Kg., panel muro 680 Kg. y panel ventana 450 Kg.

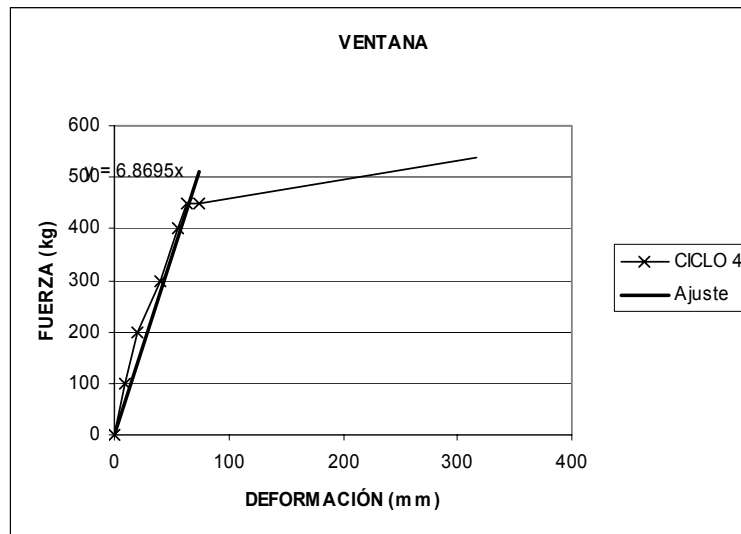
Gráfica 5. Límite proporcional, panel tipo puerta



Gráfica 6. Límite proporcional, panel tipo muro



Gráfica 7. Límite proporcional, panel tipo ventana



Al comparar los valores extraídos de las gráficas dados anteriormente, con respecto a las cargas últimas se tiene que la carga en el límite proporcional para el panel puerta es un 74.6% de la carga última, para el panel muro es un 75.6% y para el panel ventana un 83.3%.

**4.2.3 Rigidez real del panel.** En las gráficas 2, 3 y 4 se observa que los paneles distan de tener un comportamiento lineal en la relación carga-deformación, lo que supone distintos valores de rigideces dependiendo de la carga. El cálculo de las rigideces se puede realizar tomando como base la línea de tendencia propuesta anteriormente en la cual la pendiente de cada una de ellas para los diferentes paneles daría el valor de la rigidez, o utilizando una propuesta más real, aportada por los autores de este proyecto, como se describe a continuación.

El cálculo de las rigideces de los paneles en Guadua sometidos a pruebas de laboratorio es una labor que se complica más que de ordinario, como se observa en las gráficas carga vs. deformación obtenidas por medio de los ensayos, la relación entre estos dos parámetros no es completamente lineal, por lo que la rigidez depende de la deformación, disminuyendo a medida que el panel es sometido a mayor carga. Si se tiene en cuenta que la carga horizontal actuante sobre cada panel se pondera según su rigidez, se comprenderá lo

importante que debe ser el establecimiento de este parámetro de forma que su valor se acerque al comportamiento real del panel en la estructura, bajo solicitaciones de servicio.

Para determinar la rigidez real de cada uno de los paneles se iguala la fuerza cortante total<sup>29</sup> actuante sobre los paneles de corte del conjunto (casa), con la fuerza horizontal resistente que consiste en: la sumatoria de la cantidad total de cada tipo de panel por su rigidez por la deformación producida debido a las cargas de servicio sobre este, como se indica:

$$F_{HA} = F_{HR}$$

$$F_{HA} = \sum_i^n \#_{\text{PANELES}} * F_i$$

$$F_i = K_i * \Delta_i$$

$$F_{HA} = \#_{\text{MURO}} * K_M * \Delta_M + \#_{\text{PUERTA}} * K_P * \Delta_P + \#_{\text{VENTANA}} * K_V * \Delta_V$$

En donde:

$F_{HA}$ :	Fuerza Horizontal Equivalente actuando sobre la estructura
$F_{HR}$ :	Fuerza Horizontal resistente
$\#_{\text{MURO}}$ :	Número de paneles muro en la dirección en estudio
$K_M$ :	Rigidez en panel muro
$\#_{\text{PUERTA}}$ :	Número de paneles puerta en la dirección en estudio
$K_P$ :	Rigidez en panel puerta
$\#_{\text{VENTANA}}$ :	Número de paneles ventana en la dirección en estudio
$K_V$ :	Rigidez en panel ventana
$\Delta_i$ :	Deriva del panel $i$ .
$F_i$ :	Fuerza de servicio actuante sobre el panel $i$ .

---

<sup>29</sup> La fuerza cortante total se asimila como la fuerza horizontal equivalente.

$K_i$ : Rigidez en el panel  $i$ .

Para lo anterior se supone que al actuar la fuerza horizontal equivalente en la estructura, todos los paneles de un eje al encontrarse unidos de tal manera que no permitan desplazamientos relativos entre ellos, tendrán un mismo valor de deformación independiente de la rigidez de cada panel. Ya que es un caso más cercano a la realidad suponer que las uniones entre paneles garanticen un desplazamiento conjunto de la estructura.

$$F_{H A} = \Delta * (\#_{MURO} * K_M + \#_{PUERTA} * K_P + \#_{VENTANA} * K_V)$$

Se debe aclarar que lo que se quiere es encontrar la rigidez de los paneles para las cargas de servicio de la estructura, y estas a su vez están determinadas por las rigideces, entonces se debe realizar una iteración con la ecuación anterior, como se describe a continuación:

Con la suposición ya conocida, la ecuación se simplifica de esta manera:

$$F_{H A} = \#_{MURO} * F_M + \#_{PUERTA} * F_P + \#_{VENTANA} * F_V$$

Para el cálculo se toma la dirección más crítica en la cual hay 11 paneles muro, 2 paneles puerta y 1 panel ventana.

El procedimiento consiste en entrar con un valor de deformación en la gráfica 8, se toman los valores de carga para cada panel en su respectiva curva y se desarrolla la ecuación. Si el valor de la carga total resistida no iguala la carga horizontal actuante sobre la estructura se entra en la grafica con otro valor de deformación hasta que se presente una equivalencia entre los dos valores.

1ª iteración, se toma como valor de deformación 40 mm

$$7.15 \text{ Ton} \leq 13 * 0.425 + 2 * 0.340 + 1 * 0.300 \approx 6.5$$

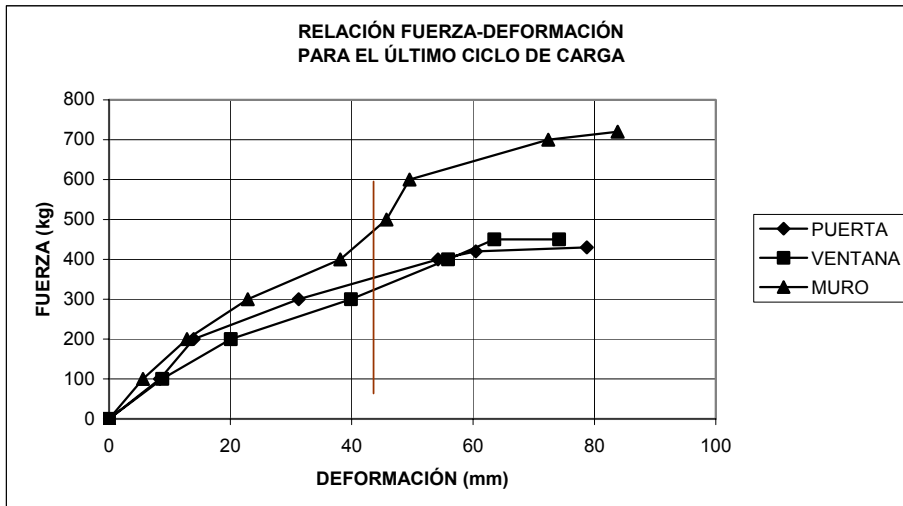
2ª iteración, se toma una deformación de 45.5 mm

$$7.15 \text{Ton} \leq 13 * 0.500 + 2 * 0.366 + 1 * 0.338 \approx 7.57$$

3ª iteración, se toma una deformación de 43.5 mm

$$7.15 \text{Ton} \leq 13 * 0.470 + 2 * 0.353 + 1 * 0.322 \approx 7.15$$

Gráfica 8. Último ciclo de carga para cada tipo de panel



Lo que se efectuó anteriormente fue una revisión para el diseño propuesto, de igual manera se puede usar este procedimiento para hacer un prediseño de la estructura en base a un límite de deformación exigido, entrando en la gráfica y con la ecuación hallando el número de paneles necesarios para soportar la carga de diseño sin exceder la deformación propuesta.

Ahora con los valores de carga obtenidos luego de la interpolación se hallan los valores de la rigidez real de cada panel dividiendo en el  $\Delta^{30}$ .

<sup>30</sup> El valor de rigidez que se halló corresponde al de carga de servicio propia de cada panel.

Tabla 7. K real para cada tipo de panel

PANEL	CARGA DE SERVICIO HORIZONTAL (kg)	CARGA VERTICAL APLICADA (kg)	$\Delta$ (cm)	K (kg/cm)
Muro	470	360	4.35	108
Puerta	353	360	4.35	81
Ventana	322	360	4.35	74

Las cargas verticales aplicadas sobre cada panel no son determinantes (por las magnitudes de las cargas manejadas en este análisis) en los valores de resistencia obtenidos para estos. Esto se debe a que el efecto que provoca es el de incrementar la compresión en los elementos verticales y en el panel las fuerzas críticas son de tensión provocadas por la fuerza horizontal, las cuales aumentarían si se retira por completo la carga vertical.

Al comparar las rigideces reales dadas con las teóricas se tiene que:

Tabla 8. K real y K teórica para cada tipo de panel

PANEL	K REAL (kg/cm)	K TEÓRICO (kg/cm)
Muro	108	8074
Puerta	81	2712
Ventana	74	2250

Las rigideces “reales” son extraordinariamente mas bajas que las teóricas producto de los menores desplazamientos, estas discrepancias se deben principalmente a que a medida que se aplica carga en el panel, las uniones tienden a separarse producto de la deflexión de los pasadores que transmiten la fuerza axial a las paredes de la guadua, también influye el ensamble entre guaduas que es hecho por medio de cortes que carecen de exactitud proporcionando cierta holgura, debido al carácter irregular de la sección de la Guadua.

Fotografía 50. Desplazamiento de las uniones



**4.2.4 Revestimientos.** En los paneles ensayados la rigidez la determina solo el entramado del panel que tiene diagonales. Teniendo en cuenta que el panel en el momento de la construcción se revocará por una cara, entonces se le sumaría la rigidez del revoque que se supone de malla de metal expandido con un espesor de 0.8 mm. Aberturas de 10 x 20 mm clavos doblados sobre la malla a 10 cm. en extremos de malla y a 20 cm. en la zona interior y mortero de cemento arena 1:4 de 1.5 cm. de espesor construido en dos capas el cual aporta una rigidez de 150 Kg. /cm\*m<sup>31</sup>.

Es de aclarar que el revestimiento solo cumple el papel de aportar rigidez al panel más no resistencia ya que el esqueleto de Guadua resiste toda la sollicitación calculada que se pueda presentar.

**4.2.5 Análisis de la efectividad del panel.** Basados en los valores de carga horizontal en el límite proporcional de cada tipo de panel, analizados anteriormente y los valores de carga de diseño para sollicitación por carga muerta, viva, viento y sismo conforme a la combinación de cargas más crítica (D+L+0.7E) se muestra la carga de diseño como un porcentaje de la carga en el límite proporcional en la siguiente tabla:

---

<sup>31</sup> MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima – Perú, 1984.

Tabla 9. Porcentaje de la carga de servicio en el límite proporcional

PANEL	CARGA DE DISEÑO HORIZONTAL (kg)	CARGA EN EL LÍMITE PROPORCIONAL (kg)	%
Muro	470	680	69.1
Puerta	353	425	83.1
Ventana	322	450	71.6

Es de aclarar que la carga de servicio debe estar por debajo de la carga en el límite proporcional para garantizar un comportamiento adecuado de los paneles en condiciones normales y además garantizar la validez de la hipótesis del comportamiento lineal y elástico cuando se trabaja con cargas de servicio.

En la tabla anterior se puede observar que los paneles están sometidos a cargas de servicio por debajo de la carga en el límite proporcional.

**4.2.6 Revisión.** Al calcularse las cargas de servicio en función de las rigideces reales se encuentra que paneles como el ventana que según el análisis teórico tomaba una carga de servicio de 198 (Kg.) en sentido horizontal ahora debía diseñarse para soportar una carga de servicio de 322 (Kg.) que representa un incremento del 62% el cual resulta significativo, por esta razón a continuación se realiza una revisión del análisis y del diseño de los elementos

Con la corrección de la fuerza horizontal actuante, en cada panel se procede a chequear los elementos internos para resistir las distintas solicitaciones<sup>32</sup>.

**Aplastamiento.** La fuerza admisible de aplastamiento es:  $N_{ADM} = 1244 \text{kgf}$

Según los resultados de diseño de los paneles el elemento que mayor sollicitación a aplastamiento presenta se encuentra en el panel puerta con un valor de 580 Kg.

---

<sup>32</sup> Teniendo en cuenta que los valores de las rigideces y la distribución de cargas horizontales actuantes sobre los paneles están amparadas por los ensayos de laboratorio dejando de ser las ideales obtenidas por el diseño en computador.

■ **Compresión axial.** Para panel de 2 metros:

$$\sigma_{ADM} = 0.5 * 29.57 MPa = 14.78 MPa = 147.8 \frac{kgf}{cm^2}$$

Según los resultados el elemento más crítico a esta sollicitación se encuentra en el panel puerta siendo esta de 335 Kg y se encuentra sometido a un esfuerzo de 7,2 Kg/cm<sup>2</sup>.

■ **Corte paralelo a la fibra.** Para la sollicitación en un plano por orificio el área resistente es:

$$A = 20 * 1.5 = 30 \text{ cm}^2$$

Como la resistencia es ofrecida por los dos orificios

$$A = 30 \text{ cm}^2 * 2 = 60 \text{ cm}^2$$

$$F_{ADM_p} = 11 * 60 = 660 \text{ Kg} \Rightarrow 0.66 \text{ Ton}$$

Según los resultados el elemento vertical mas critico a esta sollicitación se encuentra en el panel puerta con una sollicitación de 390 Kg.

Cuando el elemento es diagonal la resistencia al corte paralelo es ofrecida solo por uno de los orificios, ya que el perno solo atraviesa la Guadua por una pared.

Para la falla en dos planos

$$A = 20 * 1.5 = 30 \text{ cm}^2$$

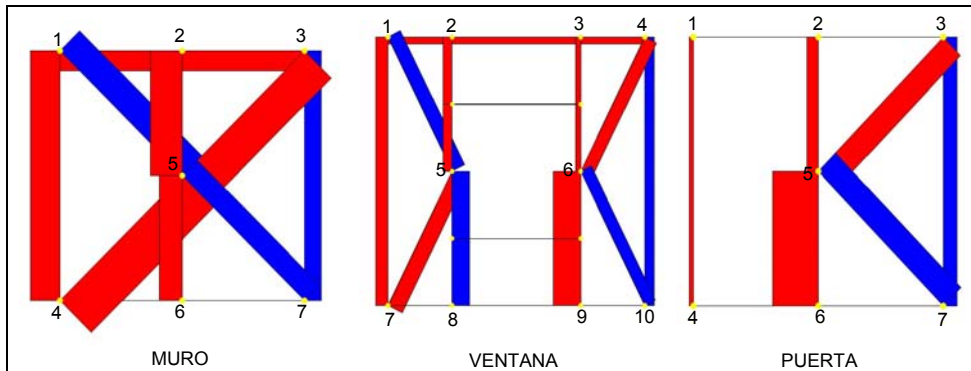
$$F_{ADM_p} = 11 * 30 = 330 \text{ Kg} \Rightarrow 0.33 \text{ Ton}$$

Según los resultados el elemento diagonal mas critico a esta sollicitación se encuentra en el panel puerta con una sollicitación de 350 Kg.

Como se observa, la resistencia del elemento es menor a la fuerza actuante por lo tanto no cumple.

**4.2.7 Análisis de las fallas presentadas.** En la figura 14 se presentan las solicitaciones a que están sometidos los paneles así: color rojo compresión axial y azul tensión axial.

Figura 14. Fuerzas axiales en cada tipo de panel



### Fallas presentadas indirectamente por compresión

Fotografía 51. Punto 5 panel muro



Se observa que la diagonal al encontrarse sometida a una compresión axial y debido a la forma de la conexión (picoeflauta) la Guadua está sometida a una solicitación como lo muestra la figura produciendo una fuerza que tiende a rajar la guadua.

Fotografía 52. Punto 5 panel ventana



Se presenta la misma falla que en el punto 5 del panel muro, y causada por el mismo problema.

Fotografía 53. Punto 6 panel ventana



Se observa un aplastamiento en la sección del elemento diagonal, por separación de las fibras longitudinales del material.

### Fallas en el pasador de la conexión

Fotografía 54. Punto 5 panel muro, pasador



En ella se observa como el perno que atraviesa de lado a lado las diagonales se flectó perdiendo la linealidad. Además se observa como el elemento diagonal superior izquierdo se sobrepone en el inferior

Fotografía 55. Punto 1 panel muro



Se observa el desplazamiento del piedercho con respecto a la solera superior, debido a la falla del mortero en el elemento vertical. Además se observa como se separa el elemento diagonal debido a la tensión a la que está siendo sometido.

Fotografía 56. Punto 1 panel ventana



Desplazamiento del elemento diagonal debido a las fuerzas de tensión a las que se encuentra. Además se observa la pérdida de la linealidad del pasador cuando el elemento diagonal lo hala hacia abajo.

Fotografía 57. Punto 3 panel ventana



Desacople de la bocaepescao del piedercho contra la solera superior, en donde se concluye que el pasador que transmite los esfuerzos a la guadua sufre deformación.

Fotografía 58. Puntos 8 y 9



Desacople de la unión.

## **Fallas dadas por rasgadura en la Guadua**

**Fotografía 59. Punto 5 panel muro**



Se desgarra la pared de la Guadua al estar sometida a una fuerza de compresión contra el perno.

**Fotografía 60. Punto 5 panel puerta**



Desgarre de la Guadua elemento sometido a tensión axial.

**Fotografía 61. Punto 3 panel puerta**



Desgarre de la Guadua por el pasador

**Falla por corte paralelo a la fibra**

**Fotografía 62. Punto 10 panel ventana**



Desplazamiento del elemento diagonal con respecto a la solera inferior, sometido a tensión axial.

**Fotografía 63. Punto 7 panel puerta**



Agrietamiento de la pared de la Guadua causado por el aplastamiento.

**Fotografía 64. Punto 4 panel puerta**



Aplastamiento del mortero y por ende agrietamiento de la pared de la Guadua.

## **Falla por daño en el mortero**

**Fotografía 65. Punto 7 panel muro**



En ella se observa un desplazamiento de el piederecho con respecto a la solera inferior, esto debido a que el mortero que se encuentra embebido en esta zona, falló, en este caso el elemento vertical al estar sometido a tracción presionó el gancho contra el mortero creando una línea de falla en toda su sección.

**Fotografía 66. Punto 1 panel puerta**



Desplazamiento de la solera con respecto al piederecho.

## **■ Aplastamiento en el material sintético**

**Fotografía 67. Punto 1 panel muro**



Daño de la arandela debido a la fuerza de tensión el perno presiona la arandela contra la pared de la guadua y hace que esta se deforme.

**Fotografía 68. Punto 5 panel ventana**



Se observa como el elemento sintético se deforma totalmente.

**Fotografía 69. Punto 5 panel puerta**



Desplazamiento de los elementos diagonales , aplastamiento del sintético

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

■ En general, la resistencia de los paneles está directamente relacionada con la cantidad de Guadua que se utilice para su construcción.

■ Los cortes que se realizan en los elementos que conforman los paneles para realizar el ensamble, deben ser hechos de tal manera que la fuerza axial a la que este solicitado este sea transmitida a su correspondiente empalme, distribuida en la mayor parte de sección transversal para evitar la concentración de esfuerzos.

■ La concentración de esfuerzos por sollicitación de compresión en las uniones entre elementos, genera esfuerzos secundarios críticos por irregularidades, debido a los defectos en la construcción de los empalmes.

■ Los valores de las rigideces teóricas muestran una gran variación en la distribución de carga horizontal en cada tipo de panel y una pequeña deriva de la estructura; al calcular las rigideces reales se observa que los distintos paneles tienen valores de rigideces cercanos entre sí y la deriva de unas cuarenta veces la teórica, lo que refleja la diferencia de diseñar con los dos tipos de rigideces, siendo necesario el diseño y el análisis sustentados en valores de rigideces reales basados en ensayos sobre paneles.

■ La resistencia de los paneles es determinada por las conexiones, siendo estas los puntos que por concentración de esfuerzos, altas deformaciones y por ineficiencia para transmitir los mismos en la totalidad de la sección transversal del elemento, desaprovechan gran parte de su resistencia, tendiendo a ser mas criticas.

■ Los paneles diseñados para conformar la propuesta de vivienda, soportaron las sollicitaciones de servicio, trabajando a un porcentaje menor de carga que el valor en el límite

proporcional hallado del comportamiento carga deformación, garantizando la hipótesis de comportamiento lineal y elástico.

■ Para garantizar que la guadua resista el aplastamiento puro, por compresión perpendicular a las fibras, es necesario rellenar los cañutos con mortero.

■ Durante el ensayo, el panel muro deja de resistir carga a los 900 Kg., producto de una desviación por falta de rectitud en la solera superior y falta de confinamiento en el sentido perpendicular al plano del panel, lo que desemboca en la caída de este.

■ El análisis en los programas estructurales, modelando la estructura como una armadura, lleva a una sobrevaloración en cuanto a rigideces ya que en estos, no se pueden tener en cuenta los desplazamientos relativos entre elementos, al no tener información suficiente para modelarlos.

■ Los elementos al someterse a los ciclos de carga presentan efectos de fatiga en los pernos de acero y en el mortero de las conexiones, representados en pérdidas de resistencia.

■ El cálculo de las rigideces reales según el método propuesto en esta investigación optimiza el diseño de los paneles, ya que supone un comportamiento más cercano al real de la estructura, en cuanto a distribución de la carga horizontal sobre cada tipo de panel y en cuanto a desplazamientos.

■ El mecanismo de prueba diseñado fue satisfactorio para la aplicación y medición de las cargas.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

■ Se deben tecnificar los cultivos de Guadua del departamento para mejorar la calidad final del material y ejercer control sobre la explotación de los mismos para que se preserven

■ Ejercer un control visual de los tallos adoptando las técnicas utilizadas por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, con el propósito de descartar tallos que presenten rajaduras ya que estas inducen la falla del elemento.

■ Se debe buscar lo necesario para la creación de un laboratorio de estructuras con el fin de proporcionar mayores recursos técnicos que faciliten la realización de los ensayos.

■ Se debe continuar con la investigación colocando a los paneles diferentes tipos de revoques para conocer su rigidez y si estos se comportan como un todo.

■ Los orificios para los pernos de las conexiones deben ser de un diámetro un poco mayor, con el fin de evitar rasgar la Guadua al momento de atravesar el cañuto con estos.

■ Se recomienda no utilizar un programa estructural para el diseño de una construcción en guadua, hasta que se pueda garantizar que las uniones puedan ser modeladas.

■ En construcciones que estén sometidas a grandes esfuerzos se debe encamisar los extremos de los elementos para evitar que en cortes como la bocaepescao y la picoeflauta las solicitaciones axiales induzcan esfuerzos en los extremos que tiendan a rajar la Guadua.

## BIBLIOGRAFÍA

AIS.-ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-98. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Bogotá, 2002.

\_\_\_\_\_, Manual de Construcción Sismo Resistente de viviendas en Bahareque encementado, 2001. Publicación con el auspicio de la Fundación Corona.

\_\_\_\_\_, Comportamiento sísmico de bahareque encementado de guadua y madera. Bogotá : Fondo para la reconstrucción y desarrollo del eje cafetero- FOREC, 2000. 42 p.

AZUOLA GUERRA, Ramón. La Guadua. En : Revista Anales de Ingeniería. Vol. 1, N° 3 (Octubre 1887).

BUITRAGO, Jaime. Hombres Transplantados. Manizales 1943. P. 68-69.

CARVAJAL, Willian N.; ORTEGON, William O. y ROMERO, Carlos J. Elementos estructurales en bambú. Bogotá, 1981. Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Nacional de Colombia.

CLAVIJO ORTIZ, Sandra C. y TRUJILLO CHEATLE David J. Evaluación de uniones a tracción en Guadua. Santafé de Bogotá, 2000. Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Nacional de Colombia.

C.R.Q.-CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO. CENTRO NACIONAL PARA EL ESTUDIO DEL BAMBÚ-GUADUA. Hojas informativas No. 1 al 15.

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

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.

GARZÓN CAICEDO, Jenny Varina. Optimización de estructuras en Guadua. Santafe 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.

GUTIÉRREZ G., Jorge A. Comportamiento Estructural y resistencia sísmica de las viviendas de bambú. En : CONGRESO MUNDIAL DE BAMBÚ/GUADUA. (1º : 1992 : Pereira). Memorias I Congreso Mundial de Bambú/Guadua. Pereira : 1992. p. 161.

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.

LIESE, W. 1985. Bamboos: biology, silvies, properties, utilization. Schrifereihe der GTZ No. 180. 132 p.

LÓPEZ, Luis Felipe y SILVA, Mario Felipe. Comportamiento sismorresistente de estructuras en Bahareque. Manizales, 2000. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Facultad de Ingeniería.

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

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.

MONTOYA, Jorge Augusto. Investigación tecnológica en métodos para la preservación de la guadua. En : SEMINARIO-TALLER AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN SOBRE GUADUA (16° : 2002 : Pereira). Memorias Seminario-Taller Avances en la Investigación sobre Guadua. Pereira: 2002.

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.

ROBLEDO CASTILLO, Jorge Enrique. Un Siglo de Bahareque en el antiguo Caldas. En: CONGRESO MUNDIAL DE BAMBÚ/GUADUA. (1°: 1992: Pereira). Memorias I Congreso Mundial de Bambú/Guadua. Pereira: 1992. P. 129.

SÁNCHEZ, Jorge y PRIETO, Edwin. Comportamiento de la Guadua Angustifolia sometida a flexión. Bogotá 2000. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil.

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

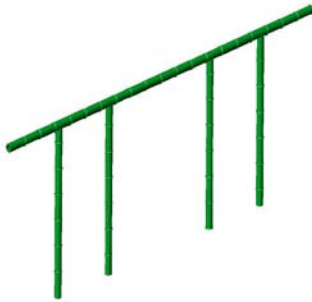
URIBE, Maritza y DURAN, Alejandro. Estudio de elementos solicitados a compresión armados con dos o mas guadas. Bogotá 2002. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil.

## **ANEXO A**

### **Censo de paneles y análisis de la relación beneficio costo**

## CENSO

### PANEL 1



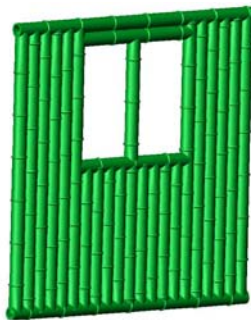
Cantidad de Guadua: 14 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 12  
Cantidad de mortero: 0.01909 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 1.76 m  
Cantidad de tuercas: 12  
Cantidad de arandelas: 12  
Utilidad: Pórtico.  
Área: 8 m<sup>2</sup> Peso: 97.41 kg

### PANEL 2



Cantidad de Guadua: 11 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 16  
Cantidad de mortero: 0.01909 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 3.52 m  
Cantidad de tuercas: 24  
Cantidad de arandelas: 24  
Utilidad: Panel tipo puerta-ventana.  
Área: 2 m<sup>2</sup> Peso: 99.53 kg

### PANEL 3



Cantidad de Guadua: 40 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 76  
Cantidad de mortero: 0.120 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 1.76 m  
Cantidad de tuercas: 12  
Cantidad de arandelas: 12  
Utilidad: Panel tipo ventana.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 424.26 kg

**PANEL 4**



Cantidad de Guadua: 19 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 26  
Cantidad de mortero: 0.0413 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 5.28 m  
Cantidad de tuercas: 36  
Cantidad de arandelas: 36  
Utilidad: Panel tipo puerta.  
Área: 6 m<sup>2</sup>      Peso: 166.18 kg

**PANEL 5**



Cantidad de Guadua: 14 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 20  
Cantidad de mortero: 0.0318 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 4.40 m  
Cantidad de tuercas: 30  
Cantidad de arandelas: 30  
Utilidad: Panel tipo ventana.  
Área: 6 m<sup>2</sup>      Peso: 125.4 kg

**PANEL 6**



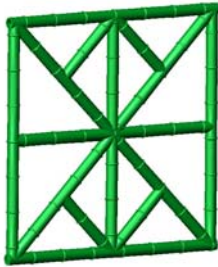
Cantidad de Guadua: 16.40 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 26  
Cantidad de mortero: 0.0413 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 4.72 m  
Cantidad de tuercas: 32  
Cantidad de arandelas: 32  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup>      Peso: 155.89 kg

**PANEL 7**



Cantidad de Guadua: 18.5 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 35  
Cantidad de mortero: 0.0557 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 7.30 m  
Cantidad de tuercas: 54  
Cantidad de arandelas: 54  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 3 m<sup>2</sup>      Peso: 195.69 kg

**PANEL 8**



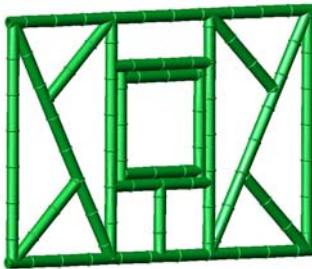
Cantidad de Guadua: 20.49 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 39  
Cantidad de mortero: 0.0620 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 8.68 m  
Cantidad de tuercas: 44  
Cantidad de arandelas: 44  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 217.57 kg

**PANEL 9**



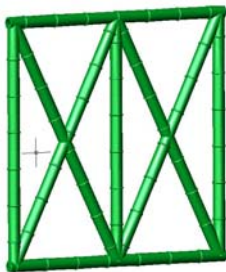
Cantidad de Guadua: 16.18 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 23  
Cantidad de mortero: 0.0365 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 4.72 m  
Cantidad de tuercas: 32  
Cantidad de arandelas: 32  
Utilidad: Panel tipo ventana.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 144.52 kg

**PANEL 10**



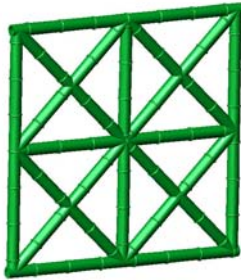
Cantidad de Guadua: 28.9 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 52  
Cantidad de mortero: 0.0699 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 10.32 m  
Cantidad de tuercas: 67  
Cantidad de arandelas: 67  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 6 m<sup>2</sup> Peso: 268.11 kg

**PANEL 11**



Cantidad de Guadua: 19 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 26  
Cantidad de mortero: 0.0413 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 6.24 m  
Cantidad de tuercas: 42  
Cantidad de arandelas: 42  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 165.94 kg

**PANEL 12**



Cantidad de Guadua: 23.31 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 47  
Cantidad de mortero: 0.0747 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 10.12 m  
Cantidad de tuercas: 68  
Cantidad de arandelas: 68  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 256.72 kg

**PANEL 13**



Cantidad de Guadua: 16.82 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 22  
Cantidad de mortero: 0.0349 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 4.28 m  
Cantidad de tuercas: 32  
Cantidad de arandelas: 32  
Utilidad: Panel tipo puerta.  
Área: 2 m<sup>2</sup> Peso: 143.56 kg

**PANEL 14**



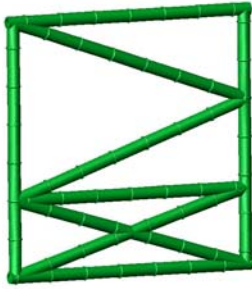
Cantidad de Guadua: 15.66 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 21  
Cantidad de mortero: 0.0334 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 4.84 m  
Cantidad de tuercas: 30  
Cantidad de arandelas: 30  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 135.47 kg

**PANEL 15**



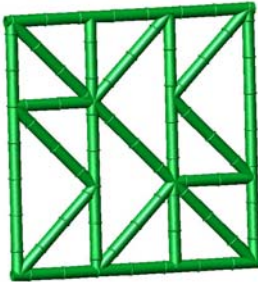
Cantidad de Guadua: 17.66 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 25  
Cantidad de mortero: 0.0397 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 5.72 m  
Cantidad de tuercas: 36  
Cantidad de arandelas: 36  
Utilidad: Panel tipo muro  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 157.38 kg

**PANEL 16**



Cantidad de Guadua: 18.41 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 24  
Cantidad de mortero: 0.0381 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 5.62 m  
Cantidad de tuercas: 36  
Cantidad de arandelas: 36  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 156.85 kg

**PANEL 17**



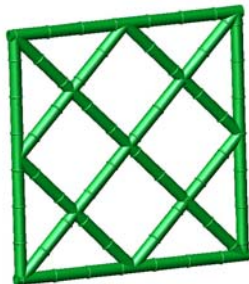
Cantidad de Guadua: 21.79 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 45  
Cantidad de mortero: 0.0715 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 10.36 m  
Cantidad de tuercas: 70  
Cantidad de arandelas: 70  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 243.71 kg

**PANEL 18**



Cantidad de Guadua: 13.83 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 21  
Cantidad de mortero: 0.0333 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 4.72 m  
Cantidad de tuercas: 32  
Cantidad de arandelas: 32  
Utilidad: Panel tipo puerta.  
Área: 2 m<sup>2</sup> Peso: 128.22 kg

**PANEL 19**



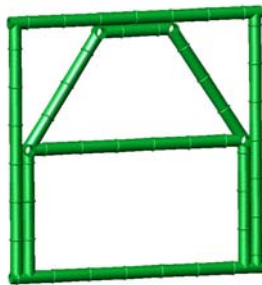
Cantidad de Guadua: 19.31 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 48  
Cantidad de mortero: 0.0763 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 10.36 m  
Cantidad de tuercas: 56  
Cantidad de arandelas: 56  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 244.39 kg

**PANEL 20**



Cantidad de Guadua: 12.76 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 24  
Cantidad de mortero: 0.0381 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 5.60 m  
Cantidad de tuercas: 42  
Cantidad de arandelas: 42  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 134.48 kg

**PANEL 21**



Cantidad de Guadua: 14.76 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 32  
Cantidad de mortero: 0.0508 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 6.48 m  
Cantidad de tuercas: 50  
Cantidad de arandelas: 50  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 170.39 kg

**PANEL 22**



Cantidad de Guadua: 10.76 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 20  
Cantidad de mortero: 0.0318 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 4.40 m  
Cantidad de tuercas: 32  
Cantidad de arandelas: 32  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 112.57 kg

**PANEL 23**



Cantidad de Guadua: 13.50 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 24  
Cantidad de mortero: 0.0381 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 5.28 m  
Cantidad de tuercas: 36  
Cantidad de arandelas: 36  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 137.41 kg

**PANEL 24**



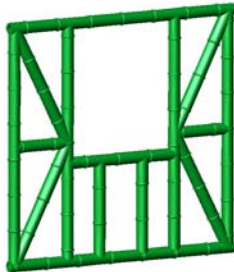
Cantidad de Guadua: 14.00 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 28  
Cantidad de mortero: 0.0445 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 6.16 m  
Cantidad de tuercas: 42  
Cantidad de arandelas: 42  
Utilidad: Panel tipo ventana.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 153.39 kg

**PANEL 25**



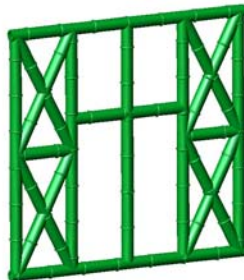
Cantidad de Guadua: 36 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 16  
Cantidad de mortero: 0.0254 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 29.04 m  
Cantidad de tuercas: 186  
Cantidad de arandelas: 186  
Utilidad: Panel tipo ventana.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 198.49 kg

**PANEL 26**



Cantidad de Guadua: 19.48 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 48  
Cantidad de mortero: 0.0763 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 11.20 m  
Cantidad de tuercas: 76  
Cantidad de arandelas: 76  
Utilidad: Panel tipo ventana.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 245.06 kg

**PANEL 27**



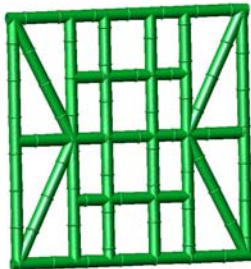
Cantidad de Guadua: 24.96 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 74  
Cantidad de mortero: 0.117 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 16.00 m  
Cantidad de tuercas: 112  
Cantidad de arandelas: 112  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 357.72 kg

**PANEL 28**



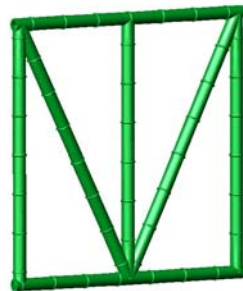
Cantidad de Guadua: 19.85 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 60  
Cantidad de mortero: 0.0954 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 13.16 m  
Cantidad de tuercas: 86  
Cantidad de arandelas: 86  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 288.51 kg

**PANEL 29**



Cantidad de Guadua: 25.64 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 76  
Cantidad de mortero: 0.120 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 14.72 m  
Cantidad de tuercas: 94  
Cantidad de arandelas: 94  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 367.41 kg

**PANEL 30**



Cantidad de Guadua: 14.47 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 15  
Cantidad de mortero: 0.0238 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 3.54 m  
Cantidad de tuercas: 24  
Cantidad de arandelas: 24  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 109.76 kg

**PANEL 31**



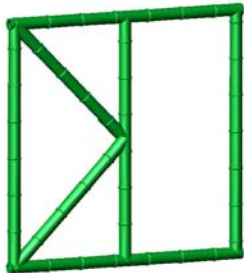
Cantidad de Guadua: 18.12 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 28  
Cantidad de mortero: 0.0445 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 6.48 m  
Cantidad de tuercas: 44  
Cantidad de arandelas: 44  
Utilidad: Panel tipo ventana.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 169.70 kg

**PANEL 32**



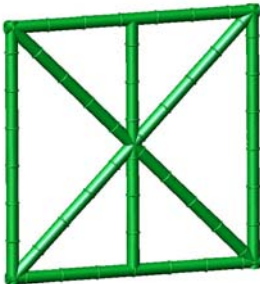
Cantidad de Guadua: 12.24 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 14  
Cantidad de mortero: 0.0222 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 3.24 m  
Cantidad de tuercas: 22  
Cantidad de arandelas: 22  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 97.44 kg

**PANEL 33**



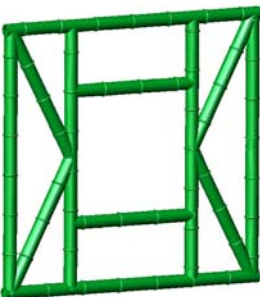
Cantidad de Guadua: 12.82 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 18  
Cantidad de mortero: 0.0286 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 3.84 m  
Cantidad de tuercas: 26  
Cantidad de arandelas: 26  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 113.73 kg

**PANEL 34**



Cantidad de Guadua: 15.64 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 21  
Cantidad de mortero: 0.0334 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 4.84 m  
Cantidad de tuercas: 30  
Cantidad de arandelas: 30  
Utilidad: Panel tipo muro.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 138.89 kg

**PANEL 35**



Cantidad de Guadua: 18.47 metros lineales  
Número de cañutos con mortero: 36  
Cantidad de mortero: 0.0572 m<sup>3</sup>  
Cantidad de varilla: 7.68 m  
Cantidad de tuercas: 52  
Cantidad de arandelas: 52  
Utilidad: Panel tipo ventana.  
Área: 4 m<sup>2</sup> Peso: 199.07 kg

## ANÁLISIS

El procedimiento de selección se realizó teniendo en cuenta el elemento más crítico a las solicitaciones de tensión y compresión para cada tipo de panel, luego se divide el esfuerzo admisible, según corresponda para compresión o tensión, en cada valor de solicitación, esto representa el beneficio. El costo está dado por el valor que cuesta los materiales constitutivos del panel así como su mano de obra teniendo en cuenta que el metro lineal de guadua cuesta \$800, el metro de varilla roscada de 3/8" cuesta \$1500, una arandela cuesta \$40, una tuerca \$60, un metro cúbico de mortero cuesta \$180000, y la mano de obra de cada unión \$1700, todo se calcula en millones; luego estos valores de beneficio costo se ponderan para que puedan ser sumados (beneficio costo a tensión más beneficio costo a compresión) para cada panel, la ponderación se realiza dando un valor de 1 al panel de mejor comportamiento a cada tipo de solicitación y disminuye para paneles menos efectivos en comparación con el mejor.

Los cálculos realizados se resumen en la siguiente tabla en los que se encuentran resaltados en negrilla y letra cursiva los tres mejores paneles para cada tipo.

PANEL	TIPO	TENSIÓN ELE. CRÍTICO	COMP. ELE. CRÍTICO	$l_e$ (m)	$\sigma_u$ Com. (Kg/cm <sup>2</sup> )	$F_{adm}$ Com. (Kg)	$F_{adm}$ Com./C om. Ele. Cri.	$F_{adm}$ Ten. (Kg)	$F_{adm}$ Ten./Ten. Ele. Cri.	PRECIO DEL PANEL (Millones)	BENEFICIO / COSTO (Compresión)	BENEFICIO / COSTO (Compresión) %	BENEFICIO / COSTO (Tensión)	BENEFICIO / COSTO (Tensión) %	BENEFICIO / COSTO (Total)
6	Muro	0.79	1.24	2.24	236.58	5.86	4.72	0.66	0.84	0.075034	62.93	0.577	11.13	0.326	0.903
7	Muro	0.44	1.34	1.80	543.92	13.46	10.05	0.66	1.50	0.101036	99.43	0.911	14.85	0.435	1.346
8	Muro	0.58	1.21	2.00	295.72	7.32	6.05	0.66	1.14	0.111272	54.36	0.498	10.23	0.300	0.798
9	Ventana	1.69	1.81	2.09	270.80	6.70	3.70	0.66	0.39	0.068894	53.75	0.492	5.67	0.166	<b>0.659</b>
10	Ventana	0.67	1.2	2.24	236.58	5.86	4.88	0.66	0.99	0.146282	33.36	0.306	6.73	0.197	<b>0.503</b>
11	Muro	0.27	1.09	2.24	236.58	5.86	5.37	0.66	2.44	0.080394	66.82	0.612	30.41	0.891	<b>1.504</b>
12	Muro	0.38	1.09	2.00	295.72	7.32	6.71	0.66	1.74	0.133974	50.12	0.459	12.96	0.380	0.839
13	Puerta	1.11	2.6	2.00	295.72	7.32	2.82	0.66	0.59	0.066758	42.17	0.386	8.91	0.261	0.648
14	Muro	0.3	1.22	2.82	148.75	3.68	3.02	0.66	2.20	0.064500	46.78	0.429	34.11	1.000	<b>1.429</b>
15	Muro	0.87	1.48	2.00	295.72	7.32	4.95	0.66	0.76	0.075954	65.11	0.597	9.99	0.293	0.889
16	Muro	1.03	1.58	2.00	295.72	7.32	4.63	0.66	0.64	0.074416	62.25	0.570	8.61	0.252	0.823
18	Puerta	1.42	2.22	2.00	295.72	7.32	3.30	0.66	0.46	0.063038	52.30	0.479	7.37	0.216	<b>0.695</b>
19	Muro	1.01	1.2	2.00	295.72	7.32	6.10	0.66	0.65	0.131922	46.23	0.424	4.95	0.145	0.569
20	Puerta	1.02	2.31	1.25	544.88	13.49	5.84	0.66	0.65	0.070466	82.85	0.759	9.18	0.269	1.028
21	Muro	0.81	2.52	1.25	544.88	13.49	5.35	0.66	0.81	0.090072	59.41	0.544	9.05	0.265	0.810
26	Ventana	1.21	1.53	2.00	295.72	7.32	4.78	0.66	0.55	0.135318	35.35	0.324	4.03	0.118	0.442
27	Muro	1.17	1.14	2.00	295.72	7.32	6.42	0.66	0.56	0.202028	31.78	0.291	2.79	0.082	0.373
28	Muro	0.72	1.41	1.30	544.83	13.48	9.56	0.66	0.92	0.163392	58.53	0.536	5.61	0.164	0.701
29	Muro	1.4	1.11	2.00	295.72	7.32	6.59	0.66	0.47	0.202792	32.52	0.298	2.32	0.068	0.366
30	Muro	0.89	1.35	2.24	236.58	5.86	4.34	0.66	0.74	0.049070	88.39	0.810	15.11	0.443	1.253
31	Ventana	1.92	2.1	2.24	236.58	5.86	2.79	0.66	0.34	0.084226	33.10	0.303	4.08	0.120	0.423
32	Puerta	2.22	2.37	2.00	295.72	7.32	3.09	0.66	0.30	0.044648	69.17	0.634	6.66	0.195	<b>0.829</b>
33	Puerta	1.42	2.23	2.00	295.72	7.32	3.28	0.66	0.46	0.054364	60.37	0.553	8.55	0.251	<b>0.804</b>
34	Muro	0.6	1.04	2.00	295.72	7.32	7.04	0.66	1.10	0.064484	109.14	1.000	17.06	0.500	<b>1.500</b>
35	Ventana	1.27	1.58	2.00	295.72	7.32	4.63	0.66	0.52	0.096192	48.16	0.441	5.40	0.158	<b>0.600</b>

## **ANEXO B**

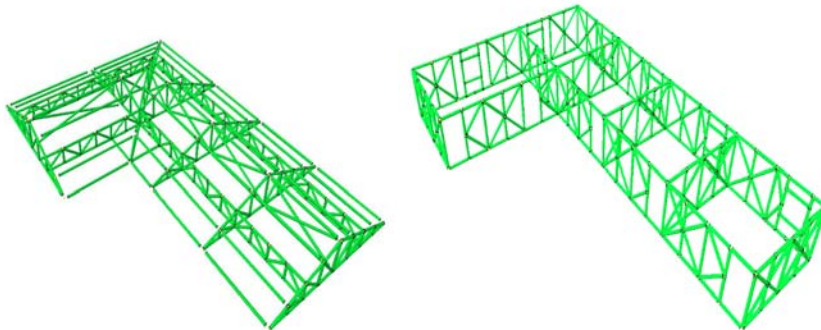
### **Diseño estructural de la alternativa de vivienda**

Lo importante de hacer esta comparación es saber si el comportamiento real se puede simular mediante un análisis convencional.

## HIPÓTESIS DEL MODELO


Para realizar el modelamiento en computador fue necesario tomar datos preliminares de las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua basados en los proyectos de grado que se han hecho sobre estas en universidades del país, así mismo se trabajo la Guadua como material isotrópico debido a la poca información que sobre sus propiedades existe. Por el tipo de unión empleado en este proyecto el panel al momento de recibir carga trabaja como una armadura (un conjunto de miembros rectos articulados unos con otros en los puntos llamados nudos) ya que los elementos al estar conectados solamente con pasadores no transmiten momentos flectores.

Para el análisis de la estructura se propuso un modelo de vivienda, el cual se estableció teniendo en cuenta los tipos más comunes de la región. Éste modelo consta de tres habitaciones cada una con  $16 \text{ m}^2$ , una cocina con  $16 \text{ m}^2$  y una bodega con  $24 \text{ m}^2$ , como se observa en la figura.



## CÁLCULO DE LAS FUERZAS ACTUANTES

### Fuerza de viento

 **Cubierta.** Presión producida por el viento, según capítulo B.6 de las NSR-98:

$$P = C_p q S_4 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

El valor de  $q$  para una altura de la edificación entre 0-10 metros y una velocidad de 100 kph según tabla B.6.4-1 de las NSR-98 es: 0.55

El valor de  $C_p$  para una inclinación de cubierta entre 20.1-30.0 grados para barlovento y sotavento según tabla B.5.4-3 de las NSR-98 es:  $C_{PB}$ : -0.4 y  $C_{PS}$ : -0.5

El valor de  $S_4$  para una altitud de la zona de 1000 metros según tabla B.6.6 de las NSR-98 es: 0.88

$$P_B = C_{PB} q S_4 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

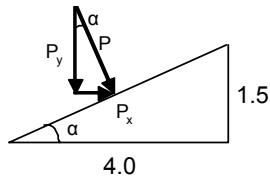
$$P_B = -0.4 * 0.55 * 0.88 \text{ (KN/m}^2\text{)} = -0.1936 \text{ (KN/m}^2\text{)} = -0.0194 \text{ (Ton/m}^2\text{)}$$

de igual manera

$$P_S = C_{PS} q S_4 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$P_S = -0.0242 \text{ (Ton/m}^2\text{)}$$

Como esta fuerza llega perpendicular a la cubierta, se descompone en cada una de las direcciones, así:



$\alpha$ :  $20.6^\circ$

$$P_{BX} = P_B * \text{sen}(\alpha) = -0.0194 * \text{sen}(20.6^\circ) = -0.0068 (\text{Ton}/\text{m}^2)$$

$$P_{BY} = P_B * \text{cos}(\alpha) = -0.0194 * \text{cos}(20.6^\circ) = -0.0181 (\text{Ton}/\text{m}^2)$$

de igual manera

$$P_{SX} = P_S * \text{sen}(\alpha) = -0.0085 (\text{Ton}/\text{m}^2)$$

$$P_{SY} = P_S * \text{cos}(\alpha) = -0.0227 (\text{Ton}/\text{m}^2)$$

#### Elementos verticales.

$$P = C_p q S_4 (\text{KN}/\text{m}^2)$$

El valor de q para una altura de la edificación entre 0-10 metros y una velocidad de 100 kph según tabla B.6.4-1 de las NSR-98 es: 0.55

El valor de  $C_p$  para estructuras prismáticas con  $h < 2b$  según tabla B.6.4-2 de las NSR-98 es: 1.2

El valor de  $S_4$  para una altitud de la zona de 1000 metros según tabla B.6.6 de las NSR-98 es: 0.88

$$P = 1.2 * 0.55 * 0.88 (\text{Ton}/\text{m}^2) \Rightarrow P = 0.0581 (\text{Ton}/\text{m}^2)$$

## CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA

**Cubierta.** Para el cálculo de los pesos de los elementos se hacen las siguientes suposiciones teniendo en cuenta la información contenida en diversos documentos:

Peso de un metro lineal de Guadua suponiendo un diámetro exterior de 0.12 m y un espesor de 0.015 m y una densidad de la Guadua de 0.8 Ton/m<sup>3</sup>: 0.00396 Ton

Peso del émbolo de mortero dentro de los cañutos rellenos: 0.0035 Ton

El área total proyectada de la cubierta teniendo en cuenta las dimensiones establecidas es: 208 m<sup>2</sup>

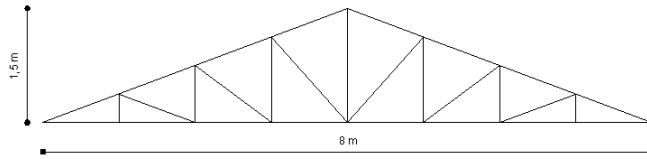
A continuación se presenta el cálculo de los pesos para las cargas muertas en la estructura.

Teja

Asbesto cemento = 0.18 kN/m<sup>2</sup>  $\Rightarrow$  0.018 Ton/m<sup>2</sup>

Peso total de teja = 3.744 Ton

Armaduras



Longitud de Guadua por Armadura: 31.69 m

Número de émbolos de mortero en cada armadura: 19

Peso de Guadua en una Armadura: 0.12544 Ton

Peso total de mortero en una Armadura: 0.06648 Ton

Número total de Armaduras: 7

Peso total de Guadua en las Armaduras: 0.8781 Ton

Peso total de mortero en las Armaduras: 0.46536 Ton

#### Correas

Longitud de correa: 20 m

Peso de cada correa: 0.07917 Ton

Peso total de mortero en una correa: 0.0224 Ton

Número de émbolos de mortero en cada correa: 8

Número de correas en la estructura: 15

Peso total de Guadua en las correas: 1.19 Ton

Peso total de mortero en las correas: 0.3359 Ton

Peso total de la cubierta: 6.61 Ton

Peso por m<sup>2</sup> de la cubierta: 0.032 Ton/m<sup>2</sup>

## Piso

Cálculo de la masa total de los paneles

Para el cálculo de la masa de los paneles se supone los acabados con tela asfáltica y una capa de friso de 0.02 m.

Peso de un panel tipo muro: 0.284 Ton

Número de paneles muro en la estructura: 24

Peso de todos los paneles tipo muro: 6.80 Ton

Peso de un panel tipo puerta: 0.272 Ton

Número de paneles puerta en la estructura: 5

Peso de todos los paneles tipo puerta: 1.36 Ton

Peso de un panel tipo ventana: 0.298 Ton

Número de paneles ventana en la estructura: 5

Peso de todos los paneles tipo ventana: 1.49 Ton

Peso total de los paneles: **9.66 Ton**

### **CÁLCULO DE LA FUERZA DE SISMO**

El cálculo de la fuerza de sismo se realiza mediante el método descrito en el capítulo A.4 de las NSR-98.

Período fundamental aproximado está dado por la ecuación A.4-2

$$T_a = C_t h_n^{3/4}$$

El valor de  $C_t$  para tipos de sistemas de resistencia sísmica no convencionales según A.4.2.2 es: 0.05

El valor de  $h_n$  es el dado por la altura de la estructura: 2.4

$$T_a = 0.05 * 2.4^{3/4} \Rightarrow T_a = 0.0964 \text{ seg}$$

El cortante sísmico en la base de la estructura está dado por la ecuación A.4-5

$$V_s = S_a g M$$

El valor de  $S_a$  depende de la comparación entre el periodo crítico y el fundamental, entonces tenemos:

El valor de  $S$  para un tipo de perfil de suelo  $S_4$  según la tabla A.2-3 es: 2

Por lo cual

$$T_c = 0.48S \Rightarrow T_c = 0.96 \text{ seg} \quad \text{entonces el valor de } S_a \text{ está dado por la ecuación A.2-3}$$

$$S_a = 2.5 A_a I$$

el valor de  $A_a$  para una región 6 según la figura A.2-2 es: 0.25

el valor de  $I$  para un grupo de uso I es: 1

$$S_a = 2.5 * 0.25 * 1 \Rightarrow S_a = 0.625$$

el valor de la aceleración de la gravedad se toma como  $10 \text{ m/seg}^2$

el valor de  $M$  es la suma de toda la masa de la estructura: 16.27 Ton

$$V_s = 0.625 * 10 * 16.27 = 10.17 \text{ Ton}$$

$$F_x = C_{Vx} V_s$$

$$C_{Vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

el valor de k para un T menor o igual a 0.5 segundos, k = 1

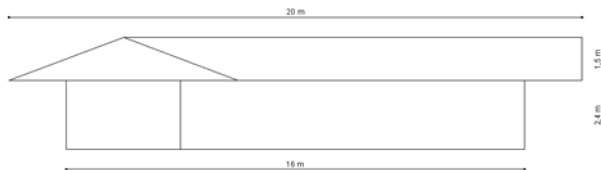
$$C_{Vx} = \frac{11.4}{16.27} \Rightarrow C_{Vx} = 0.7$$

$$F_x = 0.7 * 10.17 \Rightarrow F_x = 7.15 \text{Ton}$$

### CARGA VIVA

El valor de la carga viva para una cubierta de madera para una pendiente mayor de 20% según el capítulo B.4 es: 0.035 Ton/m<sup>2</sup>

### DETERMINACIÓN DE LA FUERZA TOTAL ACTUANTE POR VIENTO



En la cubierta

Área proyectada:  $20 \times 1.5 = 30 \text{ m}^2$

Fuerza actuante:  $0.0085 \times 30 = 0.255 \text{ Ton}$

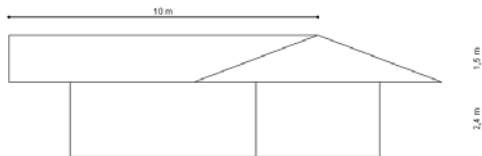
En los muros

Área proyectada:  $20 \times 2.4 = 48 \text{ m}^2$

Fuerza actuante:  $0.0581 \times 48 = 2.79 \text{ Ton}$

En conjunto

Fuerza actuante:  $0.255 + 2.79 = 3.04 \text{ Ton}$



En la cubierta

Área proyectada:  $10 \times 1.5 = 15 \text{ m}^2$

Fuerza actuante:  $0.0085 \times 15 = 0.1275 \text{ Ton}$

En los muros

Área proyectada:  $10 \times 2.4 = 24 \text{ m}^2$

Fuerza actuante:  $0.0581 \times 24 = 1.39 \text{ Ton}$

En conjunto

Fuerza actuante:  $0.1275 + 1.39 = 1.52 \text{ Ton}$

### **CARGAS VIVAS Y MUERTAS SOBRE LOS PANELES**

Muro

$W_L = 0.110 \text{ Ton/m}$

$W_D = 0.103 \text{ Ton/m}$

Puerta

$$W_L = 0.045 \text{ Ton/m}$$

$$W_D = 0.031 \text{ Ton/m}$$

Ventana

$$W_L = 0.035 \text{ Ton/m}$$

$$W_D = 0.028 \text{ Ton/m}$$

### **CÁLCULO DE LA RIGIDEZ TEÓRICA EN CADA TIPO DE PANEL**

Para obtener una rigidez teórica se modela cada uno de los paneles en SAP2000, bajo la aplicación de una carga unitaria y teniendo en cuenta el desplazamiento que esta genera

Muro

Carga aplicada: 1 Ton

Desplazamiento: 0.00109 m

$$K = \frac{F}{\Delta} \Rightarrow K = \frac{1}{0.00109} \Rightarrow K = 917.43 \text{ Ton/m} \Rightarrow K = 9174.3 \text{ kg/cm}$$

Puerta

Carga aplicada: 1 Ton

Desplazamiento: 0.00298 m

$$K = \frac{F}{\Delta} \Rightarrow K = \frac{1}{0.00298} \Rightarrow K = 335.57 \text{ Ton/m} \Rightarrow K = 3355.7 \text{ kg/cm}$$

Ventana

Carga aplicada: 1 Ton

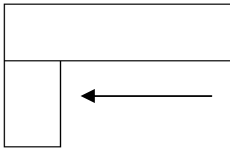
Desplazamiento: 0.00438 m

$$K = \frac{F}{\Delta} \Rightarrow K = \frac{1}{0.00438} \Rightarrow K = 228.31 \text{ Ton/m} \Rightarrow K = 2283.1 \text{ kg/cm}$$

### CÁLCULO DE LA FUERZA DE CORTE EN CADA TIPO DE PANEL, POR SOLICITACIÓN DE SISMO

Para edificaciones pequeñas en las que se puede delimitar la distancia entre muros y distribuirlos más o menos uniformemente, es posible suponer que la estructura del techo actúa como un diafragma rígido. Esto permite distribuir la fuerza cortante total proporcionalmente a las rigideces de los muros.

Sentido 1



PANEL	#	K PANEL (kg/cm)	Σ K PANEL (kg/cm)
Muro	11	9174.3	100917.4
Puerta	3	3355.7	6849.3
Ventana	4	2283.1	13422.3
<b>K TOTAL (kg/cm)</b>			<b>120116</b>

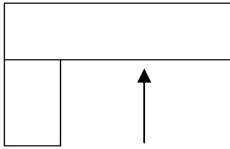
Fuerza correspondiente a cada panel:  $F_p = FHE \times \frac{K_p}{K_T}$

Muro: 0.54 Ton

Puerta: 0.19 Ton

Ventana: 0.13 Ton

Sentido 2



PANEL	#	K PANEL (kg/cm)	$\Sigma$ K PANEL (kg/cm)
Muro	13	9174.3	119266
Puerta	2	3355.7	6711
Ventana	1	2283.1	2283
<b>K TOTAL (kg/cm)</b>			<b>128260</b>

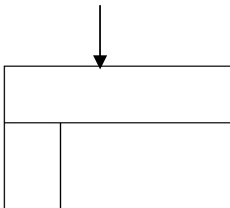
Muro: 0.51 Ton

Puerta: 0.18 Ton

Ventana: 0.12 Ton

**CÁLCULO DE LA FUERZA DE CORTE EN CADA TIPO DE PANEL, POR SOLICITACIÓN DE VIENTO**

Sentido 1



PANEL	#	K PANEL (kg/cm)	Σ K PANEL (kg/cm)
Muro	11	9174.3	100917.4
Puerta	3	3355.7	6849.3
Ventana	4	2283.1	13422.3
<b>K TOTAL (kg/cm)</b>			<b>120116</b>

Fuerza correspondiente a cada panel:  $F_P = F_V \times \frac{K_P}{K_T}$

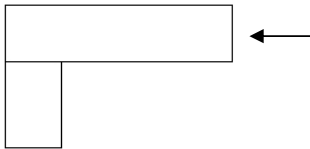
$F_V = 3.04$  Ton

Muro: 0.23 Ton

Puerta: 0.08 Ton

Ventana: 0.05 Ton

Sentido 2



PANEL	#	K PANEL (kg/cm)	Σ K PANEL (kg/cm)
Muro	13	9174.3	119266
Puerta	2	3355.7	6711
Ventana	1	2283.1	2283
<b>K TOTAL (kg/cm)</b>			<b>128260</b>

$F_V = 1.52$  Ton

Muro: 0.11 Ton

Puerta: 0.04 Ton

Ventana: 0.03 Ton

Las cargas calculadas para cada tipo de panel son:

Para paneles tipo muro:

$W_D = 0.11 \text{ Ton/m}$

$W_L = 0.103 \text{ Ton/m}$

Sismo = 0.54 Ton

Viento = 0.23 Ton

Para paneles tipo puerta:

$W_D = 0.045 \text{ Ton/m}$

$W_L = 0.031 \text{ Ton/m}$

Sismo = 0.20 Ton

Viento = 0.085 Ton

Para paneles tipo ventana:

$W_D = 0.035 \text{ Ton/m}$

$W_L = 0.028 \text{ Ton/m}$

Sismo = 0.14 Ton

Viento = 0.058 Ton

Con estos datos se cargan los paneles de acuerdo a las combinaciones ya establecidas para conocer las solicitaciones de sus elementos constitutivos y luego se realiza el chequeo de la resistencia de los mismos a las solicitaciones más críticas (aplastamiento, compresión y corte paralelo a la fibra), así:

## DISEÑO DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL PANEL

El valor de los esfuerzos admisibles se toman de las tablas N°s 2 y 3.

### **Aplastamiento**

$$N_{ADM} = F'_P * A_N$$

$$F'_P = 1.1MPa = 11 \frac{kgf}{cm^2}$$

para un radio del elemento de 0.06 m. teniendo en cuenta que el elemento que hace presión perpendicular a la fibra se encuentra relleno de mortero el  $A_N$  es:

$$A_N = 113.1cm^2$$

Entonces, la fuerza admisible de aplastamiento es:

$$N_{ADM} = 1244kgf$$

Para garantizar que la Guadua falle por aplastamiento de las fibras a compresión perpendicular, el cañuto sobre el que se aplica la fuerza debe estar relleno de mortero.

Según los resultados del modelamiento de los paneles el elemento a mayor sollicitación a aplastamiento se encuentra sometido a 0.48 Ton.

### ■ Compresión axial

$$l_E = l_U * k$$

k = 1.0 para una condición de apoyos donde ambos extremos se encuentran articulados, como se encuentran los elementos del panel.

$$l_E = 2.00m * 1.0$$

$$l_E = 2.00m$$

Radio de giro:

$$r = \frac{1}{4} \sqrt{d_E^2 + (d_E - (2 * t))^2}$$

$$r = \frac{1}{4} \sqrt{0.12m^2 + (0.12m - (2 * 0.015m))^2}$$

$$r = 0.0375m$$

Relación de esbeltez:

$$\lambda = \frac{l_E}{r}$$

$$\lambda = \frac{2.00m}{0.0375m}$$

$$\lambda = 53.33$$

Calculo de  $\lambda_o$ :

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{\pi^2 * E}{\frac{2}{3} * \sigma_B}}$$

con un contenido de humedad de 12.16 % se tiene:

$$E = 146249.95 * e^{-0.044402 * CH\%}$$

$$E = 146249.95 * e^{-0.044402 * 12.16\%}$$

$$E = 85233.01 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_B = 658.94 * e^{-0.015586 * CH\%}$$

$$\sigma_B = 658.94 * e^{-0.015586 * 12.16\%}$$

$$\sigma_B = 545.17 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\Rightarrow \lambda_o = \sqrt{\frac{\pi^2 * 85233.01 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{\frac{2}{3} * 545.17 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}} = 48.11$$

Como  $\lambda > \lambda_o$ , se cataloga como columnas largas, el esfuerzo admisible a compresión se calculó con la ecuación:

$$\sigma_{ULT} = \frac{\pi^2 * E}{\lambda^2}$$

$$\sigma_{ULT} = \frac{\pi^2 * 85233.01 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{53.33^2}$$

$$\sigma_{ULT} = 295.74 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 29.57 \text{MPa}$$

$$\sigma_{ADM} = \phi * \sigma_{ULT}$$

$$\sigma_{ADM} = 0.5 * 29.57 \text{MPa} = 14.78 \text{MPa} = 147.8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Según los resultados del modelamiento de los paneles el elemento a mayor sollicitación a compresión se encuentra sometido a un esfuerzo de 7.47 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Corte paralelo a la fibra.** Cuando el perno es de 3/8" la falla se puede dar en uno o dos planos de corte inducidos por cada uno de los orificios.

$$F_{ADM_p} = \sigma_{ADM_p} * A$$

Para la sollicitación en un plano por orificio el área resistente es:

$$A = 20 * 1.5 = 30 \text{ cm}^2$$

Como la resistencia es ofrecida por los dos orificios

$$A = 60 \text{ cm}^2$$

$$F_{ADM_p} = 11 * 60 = 660 \text{ Kg} \Rightarrow 0.66 \text{ Ton}$$

Según los resultados del modelamiento de los paneles el elemento vertical a mayor sollicitación a corte paralelo a la fibra se encuentra sometido a una fuerza de servicio de 0.24 Ton.

Cuando el elemento es diagonal la resistencia al corte paralelo es ofrecida solo por uno de los orificios en dos planos de falla, ya que el perno solo atraviesa la Guadua por una pared.

$$A = 20 * 1.5 = 30 \text{ cm}^2$$

$$F_{ADM_p} = 11 * 30 = 330 \text{ Kg} \Rightarrow 0.33 \text{ Ton}$$

Según los resultados del modelamiento de los paneles el elemento diagonal a mayor sollicitación a corte paralelo a la fibra se encuentra sometido a una fuerza de servicio de 0.23 Ton.