

# Comportamiento de pórticos en *Guadua angustifolia*, rigidizados mediante paneles prefabricados en bahareque

## *Guadua angustifolia* frames' performance when stiffened with precast adobe panels

Juan Carlos Herrera Martinez<sup>1</sup> y Caori Patricia Takeuchi Tam<sup>2</sup>

### RESUMEN

Después del sismo de 1999 en Armenia, el estudio del comportamiento estructural de los sistemas de bahareque en Colombia toma relevancia debido al buen comportamiento que éstos presentaron ante el evento sísmico. Los estudios buscaban la tecnificación en la construcción de viviendas en bahareque y brindar los requisitos mínimos para obtener un grado adecuado de sismorresistencia y evitar así el colapso; además si se tiene en cuenta que la guadua es un material económico y rentable, social y culturalmente aceptado en una amplia región del país, se estaría en presencia de un material alternativo y no convencional que con la identificación de sus limitaciones y un adecuado uso permitiría su implementación en la fabricación de viviendas económicas, funcionales y seguras. Lo anterior motivó la presente investigación, en donde se hizo una evaluación experimental de un sistema de pórtico en guadua escala 1:1 rigidizado mediante la adición de dos tipos de paneles prefabricados de bahareque y ensayado ante cargas horizontales. Se halló la capacidad de disipar energía del pórtico y el aporte a la rigidez al adicionar los paneles, obteniendo resultados bastante alentadores, en donde se redujeron derivas en aproximadamente un 50% y se aumentó la resistencia del sistema en más de un 40%. Paralelamente, se realizaron modelos matemáticos para comparar resultados experimentales con resultados analíticos. Los modelos experimentales fueron construidos y ensayados en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia.

**Palabras clave:** guadua, pórtico, paneles, bahareque, rigidez.

### ABSTRACT

Studying the structural behaviour of adobe systems in Colombia became extremely relevant after the 1999 earthquake in Armenia due to these systems' good performance during seismic events. These studies were aimed at modernising adobe house construction (by increased use of technology) and providing minimum requirements for them having a suitable degree of seismic resistance, thereby avoiding their collapse. Besides, if it is taken into account that guadua (the main material used in these systems) represents a cheap and profitable material which is socially- and culturally-accepted in most of the country, then one has an alternative, unconventional material available which may be suitably used in constructing cheap, functional and safe housing (its limitations and best use having been identified). The foregoing gave rise to the present investigation in which an experimental evaluation was made of a guadua frame system using two types of prefabricated panels in adobe, under horizontal load. Two full-scale frames were built with guadua at the Universidad Nacional de Colombia's School of Engineering in Bogota; the frames' ability to dissipate energy and support inbuilt rigidity (by stiffening them with precast adobe) was tested and strength-deformation curves were experimentally found. Extremely encouraging results were obtained as drift was reduced by roughly 50% and the system's resistance was increased by more than 40%. Mathematical models were also constructed for comparing experimental results with analytical ones.

**Keywords:** guadua, frame, adobe walls, strength.

Recibido: noviembre 11 de 2008

Aceptado: octubre 15 de 2009

### Introducción

En un sistema de pórticos se tiene la unión entre un elemento de viga y un elemento de columna de tal manera que el pórtico es capaz de tomar fuerzas verticales, horizontales y momentos. Como sistema estructural de resistencia sísmica, el sistema de pórticos presenta una serie de ventajas ante los sistemas de muros, ya que no requiere una estricta continuidad vertical, regularidad en planta

y altura, siendo arquitectónicamente más atractivo por permitir una mayor facilidad de distribución en los espacios.

Lo anterior, sumado a que la norma NSR-98 (AIS, 2002) no contempla los pórticos en guadua como sistema sismorresistente, y también por el creciente auge de utilizar sistemas constructivos en guadua, se empezó a realizar una serie de investigaciones que buscaban tecnificar un sistema constructivo modular que fuera económico, estéticamente atractivo y seguro, y que permitiera desarrollar una solución de vivienda. La primera investigación fue desa-

<sup>1</sup> Ingeniero civil, Universidad de Cartagena, Colombia. M.Sc., en Estructuras, Universidad Nacional de Colombia. Revisor y diseñador estructural jefatura de ingenieros del Ejército. jchereram@unal.edu.co, juanhe@ejercito.mil.co

<sup>2</sup> Ingeniería civil y M.Sc., en Estructuras, Universidad Nacional de Colombia. Profesora, Universidad Nacional de Colombia. cptakeuchit@unal.edu.co

rollada por el Ing. Fabián Lamus (2008), quien diseñó y estudió el comportamiento estructural ante cargas horizontales del pórtico tipo utilizado en esta investigación. Lamus encontró que la unión viga-columna propuesta para el pórtico tenía un comportamiento de unión semirrígida con una constante de 60 KN-m/rad. Como se esperaba, se halló en dicha investigación que las deflexiones del pórtico tipo ante cargas horizontales eran grandes.

Para controlar las deflexiones excesivas del sistema de pórticos en guadua se realizó esta investigación en donde se adicionaron al pórtico paneles estructurales en bahareque de dos tipos: encementados y de tiras en guadua.

El objetivo general de esta investigación fue determinar el comportamiento estructural del sistema combinado de paneles en bahareque y pórticos en guadua y cuantificar el aporte a la rigidez que los paneles daban al sistema, con el fin de implementar este sistema combinado en la construcción de viviendas modulares.

## Materiales y modelos físicos

### Materiales

Se caracterizaron los materiales utilizados para la construcción de los pórticos y paneles. En la tabla 1 se encuentran las propiedades encontradas para la guadua utilizada en la fabricación de los pórticos y paneles; en la tabla 2 se describen las propiedades de la madera de los marcos de los paneles, y en la tabla 3 se resumen las propiedades del mortero de recubrimiento de los paneles.

Tabla 1. Resultados para la guadua

Propiedades físicas y mecánicas de la guadua	Valor
Densidad básica al aire ( $\rho_a$ )	5.81 kN/m <sup>3</sup>
Densidad seca al aire ( $\rho$ )	5.22 kN/m <sup>3</sup>
Humedad	11.03 %
Compresión paralela de la fibra ( $\sigma_c$ )	41.08 Mpa
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra - Def. mecánico ( $E_{CDM}$ )	6.73 Gpa
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra - Def. eléctrico ( $E_{CDM}$ )	10.78 Gpa
Módulo de resiliencia - Def. mecánico ( $\mu_{DM}$ )	32.11 kJ
Módulo de resiliencia - Def. eléctrico ( $\mu_{DE}$ )	33.65 kJ
Módulo de tenacidad - Def. mecánico ( $\mu_{DM}$ )	73.54 kJ
Módulo de tenacidad - Def. eléctrico ( $\mu_{DE}$ )	48.07 kJ

Tabla 2. Resultados para la madera

Propiedades físicas y mecánicas de la madera	Valor
Densidad básica al aire ( $\rho_{aM}$ )	4.03 kN/m <sup>3</sup>
Densidad seca al aire ( $\rho_{sM}$ )	3.37 kN/m <sup>3</sup>
Humedad ( $H_M$ )	16.89 %
Compresión paralela a la fibra ( $\sigma_{cM}$ )	27.05 Mpa
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra ( $E_M$ )	8.22 Gpa
Compresión perpendicular a la fibra ( $\sigma_{tM}$ )	5.32 Mpa
Módulo de elasticidad perpendicular a la fibra ( $E_{PM}$ )	157.19 Mpa
Módulo de rigidez (G)	0.84 Gpa
Relación de Poisson	0.25

### Topología del pórtico

Los pórticos tenían una altura de 4,70 m, un ancho exterior de 4,00 m y una luz libre entre columnas de 3.70 m. Estaban conformados por culmos de *Guadua angustifolia*, cuyas propiedades mecánicas y físicas se encuentran en la tabla 1 con diámetros entre 100 mm. y 110 mm; espesores entre 10 y 16 mm; longitudes de 4,70 m para elementos de columna; 4,00 m para elementos de viga; 0,50 m para los separadores entre vigas y 0.35 m. para los separadores en columnas (Figura 1).

Las columnas estaban conformadas por 4 elementos de guadua de 4,70 m de longitud. Tenían 8 separadores de 0,35 m de longitud;

2 localizados en la mitad de la altura del primer, 2 en la mitad de la altura del segundo piso, formando una cruz para ambos casos, y los otros 4 se localizaron en la parte superior e inferior de cada viga que conformaba el nudo. Las vigas estaban compuestas por 2 elementos de guadua de 4,00 m de longitud. Éstas tenían 4 separadores de 0,50 m de longitud distribuidos a longitudes equidistantes cada 0,72 m. La unión entre la viga y la columna se realizó por medio de pasadores de acero roscado de 1/2 pulgada de diámetro y 240 Mpa de resistencia. El nudo tenía 10 pasadores o pernos, de aproximadamente 0,40 m de longitud. Además, para evitar falla por corte, poseía 6 zunchos en platinas metálicas de 1/2 pulgada de ancho y 0,03 pulgadas de espesor, 4 en las columnas y 2 en las vigas.

Tabla 3. Resultado para el mortero

Propiedades físicas y mecánicas del mortero	Valor
Densidad básica al aire ( $\rho_m$ )	16.22 kN/m <sup>3</sup>
Compresión ( $\sigma_m$ )	6.00 Mpa
Módulo de elasticidad ( $E_{PM}$ )	4.50 Gpa
Relación de Poisson	0.25

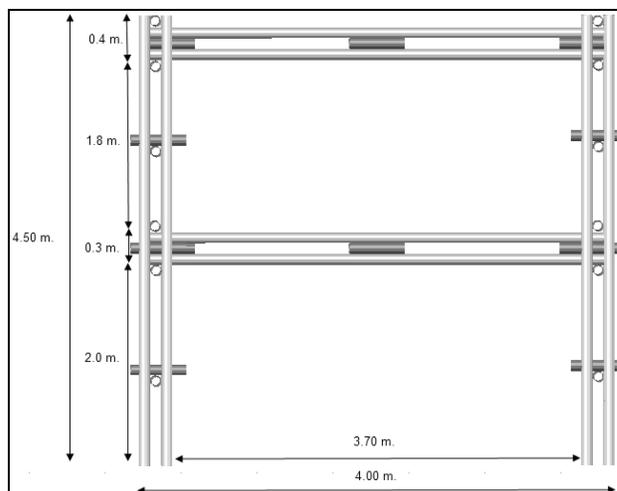


Figura 1. Topología del pórtico.

### Especímenes ensayados

#### Paneles prefabricados

El panel de 0,90 m x 2,00 m constaba de una estructura interna y otra externa. La estructura interna estaba conformada por la diagonal; los pie derechos en guadua, de 100 mm de diámetro y 10 mm de espesor promedio; el marco en madera tipo Sajo, cuyas propiedades físicas y mecánicas se encuentran en la tabla 2, los parales y las soleras en listones de 50 mm x 100 mm (Figura 2). La estructura externa consistió en el recubrimiento, el cual fue de dos tipos: en bahareque encementado (Ver propiedades físicas y mecánicas del mortero en tabla 3) y en tiras de guadua sin cepillar.

#### Sistema panel - pórticos

Al pórtico descrito se le instalaron los paneles prefabricados en bahareque encementado y tiras de guadua. Se requirió fabricar un panel de menores dimensiones, 0,90 m x 1,80 m para el nivel superior del pórtico. Los paneles se localizaron en el pórtico de tal manera que sus diagonales formaran cruces.

## Montaje e instrumentación del ensayo

### Páneles

El panel se atornilló en dos puntos en la solera inferior, a un perfil metálico tipo MC, que a su vez se apoyaba en un perfil metálico tipo W, se adicionaron platinas de 1" de espesor que al entrar en contacto con los perfiles tubulares que se colocaban en los extremos del perfil W mejoraban la fijación de todo el sistema al marco de carga (Figura 3).

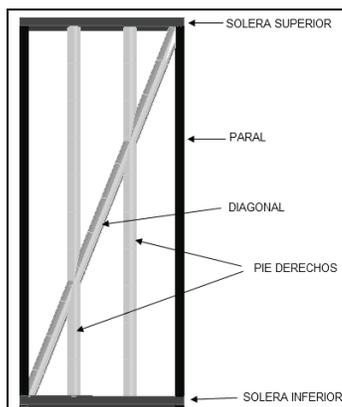


Figura 2. Estructura interna del panel tipo.



Figura 3. Montaje de los paneles

La instrumentación del panel para medir los desplazamientos se hizo con flexómetro en la solera superior y deformímetro mecánico en la solera inferior. Los paneles fueron cargados como se muestra en la Figura 4.

### Pórticos

La instrumentación del pórtico se hizo colocando un flexómetro en el nudo superior y en el nudo intermedio del pórtico. Igualmente, las zapatas fueron instrumentadas con deformímetros para corregir las lecturas por movimiento vertical y horizontal de éstas. El pórtico fue cargado como se muestra en la Figura 4.

### Anclaje sistema panel - pórtico

#### Páneles

La cimentación para los paneles en el sistema panel-pórtico consistió en un muro corrido en mampostería conformada por tres hileras de ladrillos tolete de 0,4 m de longitud y 0,1 m de espesor, las celdas fueron rellenas con concreto de 3.000 psi y tenían los pernos que servirían como anclaje para los paneles; se rellenaron

en 8 celdas. La altura total de la cimentación fue de 0,33 m (Figura 5).

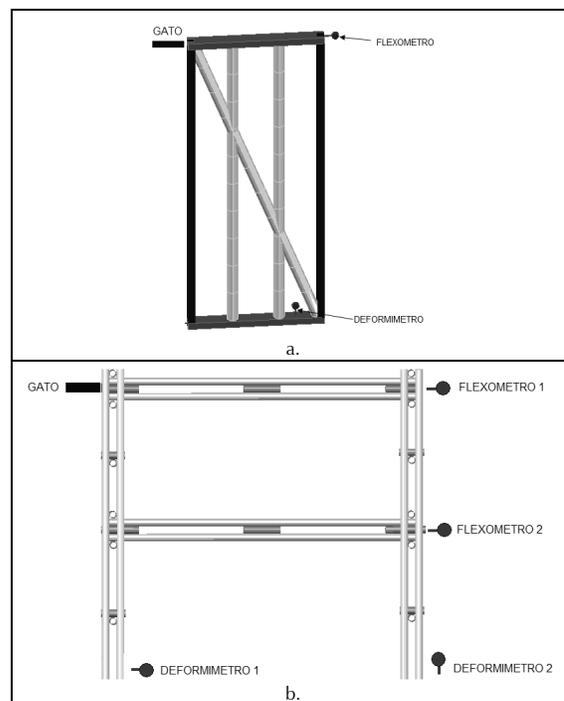


Figura 4. a. Instrumentación en paneles. b. Instrumentación en pórticos



Figura 5. Muro corrido

### Pórticos

El pórtico descansaba sobre dos zapatas de 0,80 x 0,80 m de área transversal, de donde salía un pedestal en forma de cruz de 0,15 m de espesor y 0,50 m de alto. El pórtico se ancló a la cimentación por medio de 8 pasadores de aproximadamente 0,50 m de longitud. A su vez la cimentación se ancló al piso para evitar giros y movimientos traslacionales excesivos al ser ensayado (Figura 6).

### Ensayos de laboratorio

Se realizaron ensayos de carga y descarga horizontal en una dirección; en la tabla 4 se resumen el tipo y la cantidad de ensayos.

Tabla 4. Ensayo de laboratorio

Tipo de ensayo	Número
Ensayos en paneles	
Panel sin recubrimiento	3
Panel en tiras de guadua	3
Panel en bahareque	3
Ensayos en pórticos	
Pórticos con paneles en tiras de guadua	2
Pórticos con paneles en bahareque	2

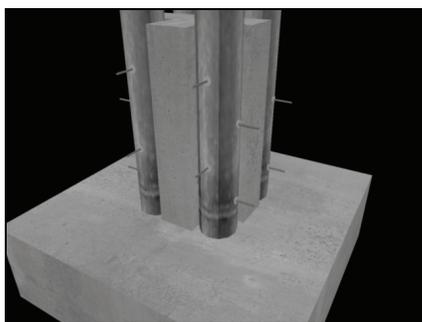


Figura 6. Zapata pórtico

### Modelación numérica

Se elaboraron modelos numéricos lineales para intentar reproducir y verificar el comportamiento estructural obtenido en el ensayo de los paneles y pórticos. Se ingresó al programa el módulo de elasticidad, densidad y relación de Poisson. Se realizaron dos modelos para cada sistema ensayado: un modelo 1 simple y un modelo 2 más complejo. Los modelos numéricos se muestran en las figuras 7 a 14.

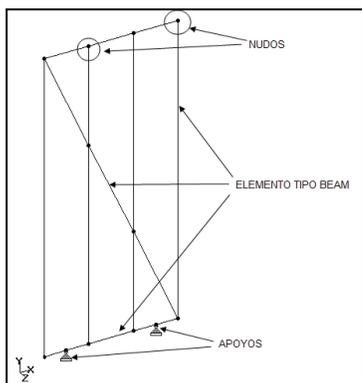


Figura 7. Modelo de panel sin recubrimiento.

### Resultados

#### Páneles

La tabla 5 muestra los resultados promedios de tres ensayos obtenidos para cada tipo de panel; se observa que los paneles pierden rigidez de un ciclo a otro, lo que refleja una degradación de los materiales que los componen. En la tabla 5, P es la carga, Δ el desplazamiento y K la rigidez.

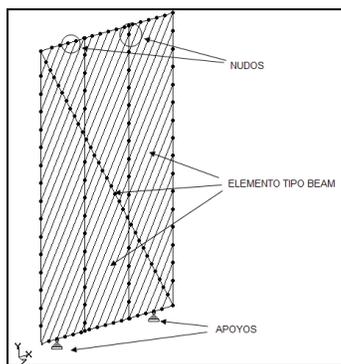


Figura 8. Modelo de panel de tiras.

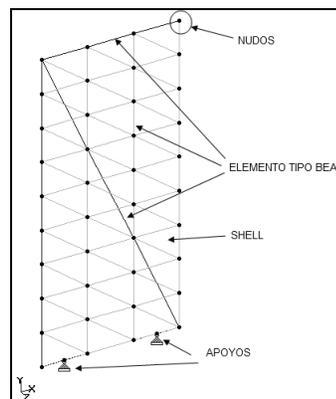


Figura 9. Modelo de panel en bahareque.

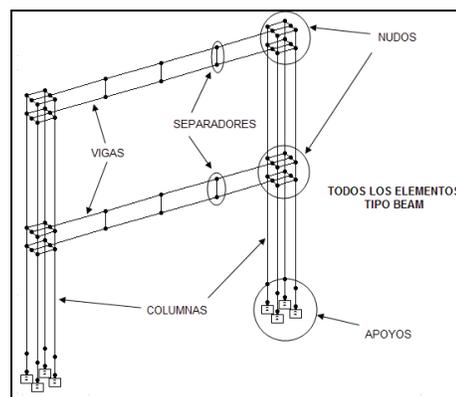


Figura 10. Modelo de pórtico sin paneles.

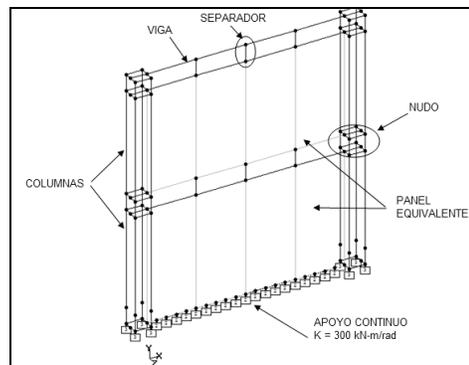


Figura 11. Modelo 1 de pórtico con paneles en bahareque encementado.

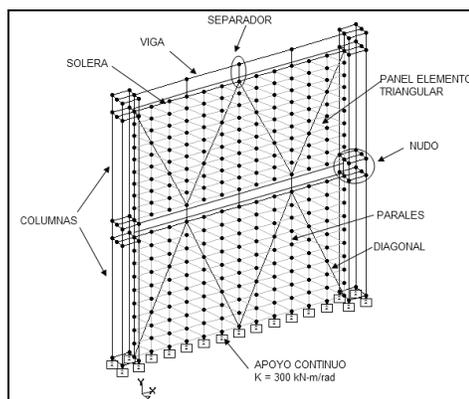


Figura 12. Modelo 2 Pórtico con paneles en bahareque encementado.

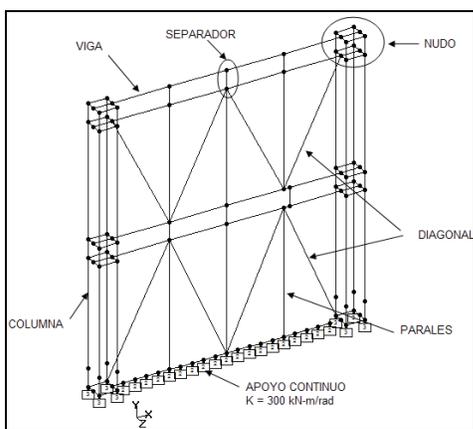


Figura 13. Modelo 1 de pórtico con paneles en tiras de guadua.

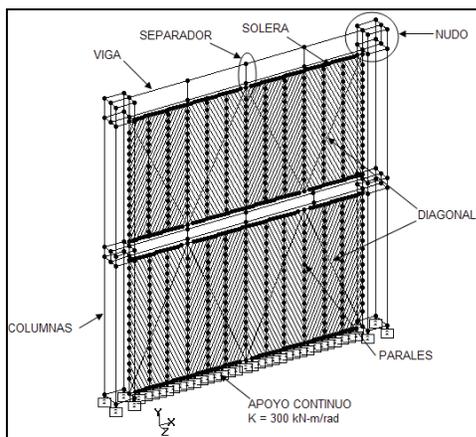


Figura 14. Modelo 2 Pórtico con paneles en tiras de guadua.

Tabla 5. Resultados experimentales en paneles

TIPO DE PANEL	CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3		
	P (kN)	Δ (mm)	K (kN/m)	P (kN)	Δ (mm)	K (kN/m)	P (kN)	Δ (mm)	K (kN/m)
SIN RECUBRIMIENTO	260	80	3.16	223	100	1.76	175	120	0.31
BAHAREQUE	533	120	5.74	480	120	3.97	242	80	3.18
TIRAS DE GUADUA	453	140	3.26	301	160	2.87	139	120	2.02

### Ensayos en sistema panel – pórtico

En los dos sistemas de paneles de bahareque y de tiras en guadua se observaron comportamientos similares para cada ensayo realizado y con un total de tres ciclos por ensayo. La carga máxima obtenida en cada ciclo fue la misma sin que ninguno de los dos sistemas de pórticos fuera exigido hasta la falla. En cada ciclo la capacidad de desplazamiento del pórtico va disminuyendo, presentando un comportamiento no lineal e inelástico dado que el pórtico al ser descargado no regresaba a su posición inicial acumulando una deformación permanente. (Ver Figuras 15 y 16). La tabla 6 muestra los resultados promedios obtenidos

### Modelación en paneles

El resultado del análisis refleja el comportamiento experimental del panel sin recubrimiento. El paral izquierdo está a tensión, mientras que la diagonal, a compresión. La carga de falla de la unión fue de 590 N y la carga en la diagonal de 650 N. (Ver Figura 17).

Al adicionar el recubrimiento se modifica el comportamiento estructural del panel; todos los elementos que conforman el marco están sometidos a fuerzas de tensión o compresión caso contrario

al panel sin recubrimiento. La carga de falla de la unión fue de 680 N. La carga que toma la diagonal debido al efecto del clavo de las tiras va variando tramo a tramo, este valor oscila entre 0,753 kN en el nudo superior y 0,313 kN en el nudo inferior (Figura 18).

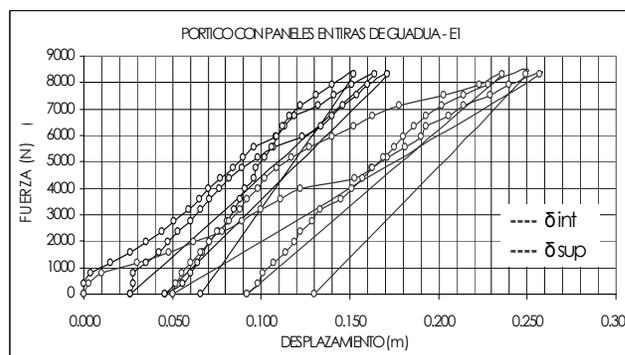


Figura 15. Relación fuerza frente a desplazamiento del panel de tiras en guadua.

Tabla 6. Resultados experimentales en pórticos

SISTEMA PANEL PORTICO	P (kN)	CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3		
		Δ (mm)	K (kN/m)	P (kN)	Δ (mm)	K (kN/m)	P (kN)	Δ (mm)	K (kN/m)	
BAHAREQUE	N. Int	9520	75	131.6	9520	68	219.4	9520	59	232.9
	N. Sup	9520	205	49.2	9520	165	68.1	9520	121	68
TIRAS DE GUADUA	N. Int	8530	171	51.5	8530	164	54.1	8530	151	90.7
	N. Sup	8530	257	32.4	8530	249	45.2	8530	236	59.1

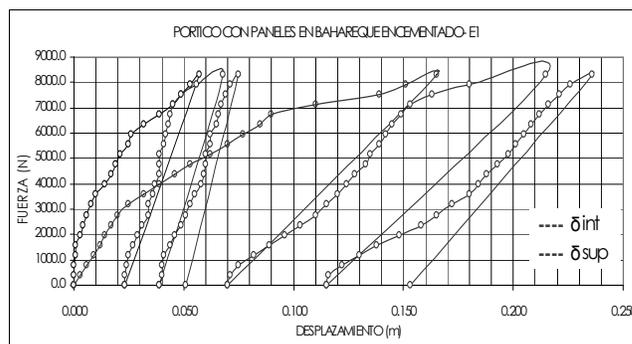


Figura 16. Relación fuerza ante desplazamiento del panel de bahareque.

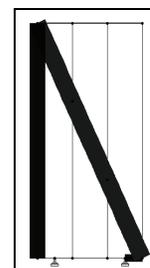


Figura 17. Análisis en panel sin recubrimiento

Al adicionar el recubrimiento se modifica el comportamiento estructural del panel; los elementos que conforman el marco están sometidos a fuerzas de tensión o compresión, caso contrario al panel sin recubrimiento. La carga que se presenta en estos elementos varía longitudinalmente y aumenta a medida que se acerca a los apoyos, tal como ocurre en la distribución del esfuerzo en el recubrimiento (Figura 19). La carga de falla de la unión fue de 651 N, la diagonal toma una carga entre 0,156 kN a 0,282 kN. Los esfuer-

zos que se presentan en la parte superior del panel son menores a los de la parte inferior; donde se encuentran los apoyos del panel los esfuerzos son mayores, especialmente donde se produce la falla.

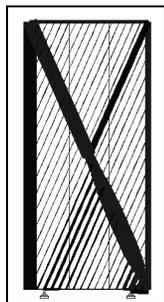


Figura 18. Análisis en panel en tiras de guadua

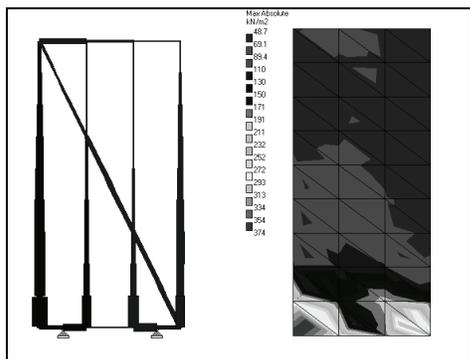


Figura 19. Análisis en panel de bahareque encementado

**Modelación en pórticos**

Se plantearon dos modelos numéricos lineales para analizar el comportamiento del sistema de pórticos con paneles en bahareque encementado. Un primer modelo simple, en donde no se modelaban las diagonales, los pie derechos, el marco en madera, el mortero y la malla de gallinero, y en lugar de éstos se colocaba una sección equivalente maciza. Este modelo se calibró con el desplazamiento del nudo superior. La diferencia porcentual entre desplazamientos analíticos y experimentales no fue superior al 8%, sólo 4 valores de 25 sobrepasaron este porcentaje y la diferencia fue por exceso, por lo cual se determina que el uso del modelo es posible.

En el segundo modelo se consideraron todas las partes constitutivas del panel excepto en el recubrimiento, en donde se volvió a simplificar la esterilla y la malla por una sola sección de espesor uniforme. Los resultados de éste no fueron buenos, ya que las diferencias entre desplazamientos experimentales y analíticos estuvieron por encima del 30% en la mayoría de los puntos; por este motivo se calibró variando sus módulos de elasticidad.

En general el mapa de esfuerzos principales absolutos obtenido en cada modelo es coherente con la falla que se presentó en el sistema (Figura 20).

Se plantearon dos modelos numéricos lineales para analizar el comportamiento del sistema de pórticos con paneles en tiras de guadua. Un primer modelo simple, en donde se modelaban diagonales del panel con un espesor y sección mayor, pero no se modelaban los pies derechos, el marco en madera y las tiras de guadua, se calibró con el desplazamiento del nudo superior. La diferencia porcentual para este modelo entre desplazamientos analíticos y

experimentales no fue superior al 13%, sólo 3 valores de 25 sobrepasaron este porcentaje y la diferencia fue por exceso por lo cual se determina que el uso del modelo es posible.

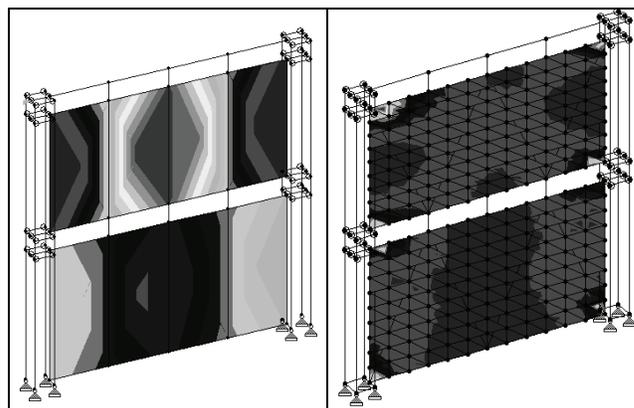


Figura 20. Estados de esfuerzos principales absolutos  $\sigma_1$

En el segundo modelo se tuvieron en cuenta todas las partes constitutivas del panel. Los resultados de éste no fueron buenos ya que las diferencias entre desplazamientos experimentales y analíticos estuvieron por encima del 41% en la mayoría de los puntos; por este motivo se calibró variando sus módulos de elasticidad. (Figura 21).

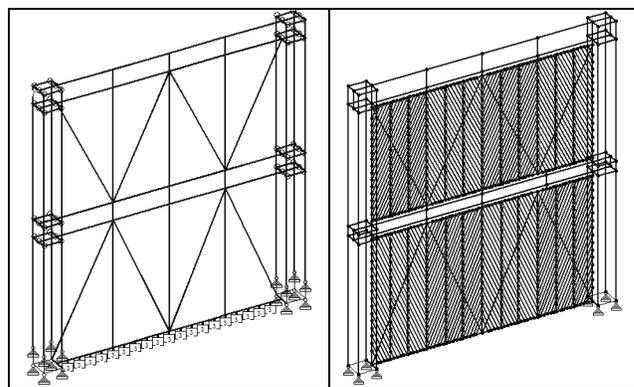


Figura 21. Fuerza axiales

**Fallas**

Se presentaron los siguientes tipos de fallas:

**Páneles**

En todos los tipos de paneles se presentó la misma falla, que fue el desgarramiento de la unión sometida a tensión (Figura 22).



Figura 22. Falla en la unión del panel

## Pórticos

La falla se presenta en los paneles de bahareque; la primera fisura, a una carga horizontal aplicada de 4.365 N en el panel superior continuo al punto de aplicación de la carga; el panel inferior se fisura a una carga horizontal aplicada de 5.159 N. La trayectoria de las fisuras es en dirección vertical debido a la esterilla, la fisuración más marcada se evidencia en la unión panel – panel. A pesar de que el mortero se fisura, éste no se desprende del panel. Los paneles superiores revelan una mayor fisuración, comportamiento reflejado por los modelos matemáticos en los cuales se ejercen en los paneles superiores los mayores esfuerzos (Figura 24).



Figura 23. Falla en pórtico de bahareque



Figura 24. Falla en la solera

Al momento de la falla los dos paneles centrales superiores sufren un desprendimiento en su solera superior y los pernos desgarran el elemento de viga superior a la que están conectados (Figura 25).



Figura 25. Desgarramiento de la viga inferior

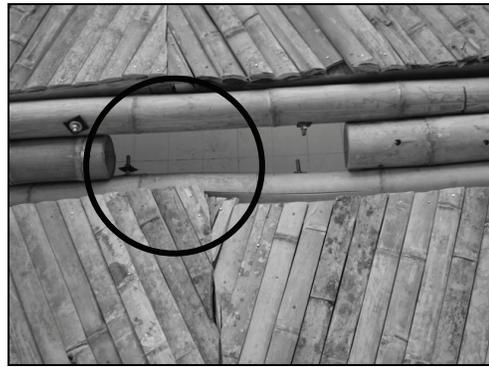


Figura 26. Aplastamiento de la viga inferior



Figura 27. Desgarramiento de la solera inferior



Figura 28. Falla por corte

## Conclusiones

En el primer ciclo la unión se fisuraba pero no sufría, desgarramiento, éste se presentaba en el tercer ciclo, por eso se asume que la diagonal y los recubrimientos aportan la mayor parte de la resistencia en los dos ciclos.

Al presentarse la falla en los paneles las uniones entre los elementos del marco (soleras y paraleles) en madera muestran desplazamientos y reflejan la acción de un elemento sobre el otro; a pesar de esto conservan su integridad, excepto por la unión inferior en la cara de la carga que falla por tensión. Las puntillas que unen la diagonal y los pies derechos se tuercen y tienden a salirse, de igual manera ocurre en las puntillas que unen pies derechos y soleras. Lo anterior es un reflejo de la degradación del panel al realizar el ensayo.

A medida que se hacen los ensayos los pórticos ganan rigidez pero pierden ductilidad, es decir, se llega a los mismos niveles de carga pero con menores desplazamientos.

El adicionar paneles estructurales a los pórticos mejora su comportamiento estructural debido a que se aumenta la resistencia en un 111% en pórticos con muros de bahareque encementado y en 93 % en pórticos con paneles de tiras en guadua; se aumenta la rigidez un 37% si se usan paneles de tiras de guadua y un 70% si se utilizan paneles en bahareque; y se reducen los desplazamientos en un 39% con paneles de tiras de guadua y un 50% con paneles en bahareque.

A medida que se efectuaban los ensayos en los pórticos los recubrimientos presentaban un comportamiento similar al de los ensayos en cada panel individual, es decir, los paneles en bahareque se fisuraban verticalmente y las aperturas de las fisuras aumentaban durante el ensayo; los paneles de tiras no sufrían daño.

Las fallas en los paneles al estar funcionando conjuntamente con los pórticos son diferentes a las halladas en los ensayos individuales de paneles, por lo general fallaba la solera inferior o superior en los puntos en donde se unían a los elementos de vigas y no en la unión entre marcos de paneles.

Al finalizar el ensayo las uniones entre pórticos y paneles sufrían desgarramientos, fisuras y deterioros, caso contrario a las uniones entre paneles, las cuales tenían señales de la acción de las fuerzas que actuaban en los elementos pero sin perder la integridad en la unión.

Aunque los paneles reducen las deflexiones, el sistema de pórticos en guadua no es recomendable para conformar un sistema estructural junto con muros o particiones frágiles, debido a que estas últimas se agrietarían, como ocurrió con los paneles de bahareque.

No es adecuado utilizar un análisis elástico lineal para representar el comportamiento de un sistema estructural, que en sus gráficos fuerza frente a desplazamiento mostró un comportamiento no lineal y posiblemente inelástico, por esto se obtuvieron variaciones entre los resultados analíticos y experimentales, y se hizo necesario calibrar los modelos.

El panel de bahareque encementado presenta una rigidez alrededor de un 24% mayor a la del panel de tiras, sin embargo el peso de un panel de bahareque encementado es de alrededor de 105 kg y el de un panel de tiras en guadua alrededor de 52 kg, un 50% menor al de bahareque encementado. Si se tiene en cuenta el peso y el comportamiento estructural, es recomendable escoger la solución de los paneles de tiras de guadua como alternativa de rigidización.

Para investigaciones futuras sería muy interesante para paneles en bahareque encementado modificar la orientación de la esterilla y cuantificar cómo afecta el comportamiento estructural del panel; pasar de un modelo plano a un modelo tridimensional con el fin de obtener resultados más ajustados a la realidad y que permitan llegar al objetivo final de esta línea de investigación: la fabricación de casa modulares en guadua, que sean confortables y seguras; y continuar ajustando los parámetros o variables de diseño que se introducen en un modelo computacional, con el fin de lograr resultados que describan de forma apropiada el comportamiento

real del sistema pórtico – panel ante la sollicitación de fuerzas gravitacionales y sísmicas (horizontales).

## Bibliografía

- AIS. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica., Norma Colombiana Sismo de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98) Capítulo E-7 Casas de uno y dos pisos en bahareque encementado, Enero de 2002, pp. 1–24.
- AIS. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica., Manual de evaluación y rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareque tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002, Abril de 2002, pp. 10-24.
- AIS. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica., Manual construcción de sismo resistente de viviendas de bahareque encementado, Febrero de 2001, pp. 1-69.
- Chan S. L., Chung K. F., Yu W. K., Column buckling of structural bamboo., *Engineering Structures*, Vol. 25, 2003, pp. 755-758.
- Guevara, D. A., Samory, C. S., Guerrero, P., Análisis del comportamiento dinámico de un muro construido en técnica Timagua mediante ensayo en un simulador sísmico uniaxial., Trabajo de grado, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería Civil y Geomática, 2003.
- González, G., Gutiérrez, J., Structural performance of bamboo 'bahareque' walls under cyclic load J., *Bamboo and Rattan*, Vol. 4, No. 4, 2005, pp. 353–368
- Hernández, J., Santos, V., Estudio sobre el comportamiento de paneles en guadua para la conformación de vivienda., Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander., Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería, 2004.
- Herrera, J. C., Comportamiento estructural de pórticos en guadua angustifolia, rigidizados mediante paneles prefabricados de bahareque encementado y artesanales laminados en guadua., Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- ISO 22157., (International Organisation for Standardisation) "Determination of physical and mechanical properties of bamboo" Technical Committee ISO/TC 165, Timber structures, Subcommittee SC 9, Round poles, with co-operation of INBAR, International Network for Bamboo And Rattan.
- Janssen J. J., Van Der Lugt, P., An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures., *Engineering Structures*, Vol. 20, 2005, pp. 648-656.
- Lamus, F., Calificación de una conexión viga columna resistente a momento en *Guadua angustifolia*., Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- Lopez, L. F., Trujillo, D., Diseño de uniones y elementos en estructuras de guadua., Mayo de 2002, pp. 1-11.
- López, L., F., Silva, M., Comportamiento sismo-resistente de estructuras en bahareque., Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, 2000.
- Rubens Cardoso, J., Precast Constructive System for Social Housing using Bamboo., Instituto do Bambu Brasil, 2003, pp. 1-6.
- Salazar, J., Correcha, E., Comportamiento de columnas en guadua., *Ingeniería e Investigación*, Vol. 6, 2002, pp. 28-32.