SISTEMA DE CASCARONES CON ELEMENTOS CONFORMADOS POR LATAS DE GUADUA NO ENCOLADAS

Andrés Felipe Ramírez Ospina[1], Mariana Mahecha Suárez[2], Caori Patricia Takeuch Tam[3]

[1]Facultad de Artes, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, anframirezos@unal.edu.co

Faculdad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia,
[2]mmahechas@unal.edu.co, [3]cptakeuchit@unal.edu.co

Palabras clave: cañas de guadua, arcos de guadua, cascarones de guadua, bóvedas de guadua, sistema constructivo

Resumen

La construcción consume el 50% de los recursos naturales, el 40% de la energía y genera el 50% de los residuos a nivel global; la vivienda presenta un déficit grande en Latinoamérica donde se tendría que resolver la situación para alrededor de 50 millones de personas que viven en la pobreza; los avances tecnológicos y la globalización conforman dos grandes depredadores de las culturas de los países. Éstas tres afirmaciones constituyen solo tres problemas de los diversos que deben atender la arquitectura y la construcción. Para esto, la investigación presentada explora una nueva alternativa del bahareque que sea amigable con el medio ambiente, económicamente sostenible y propenda por aumentar la difusión de técnicas ancestrales que con el tiempo han pasado a un segundo plano. El sistema constructivo de cascarones en bahareque usa elementos estructurales de latas de guadua no encoladas, como esqueleto de un muro-cubierta y busca dilatar las posibilidades formales tanto en planta como en alzado, estipuladas en el reglamento de sismo resistencia vigente en Colombia, obteniendo de manera paralela un sistema estructural con las adecuadas propiedades mecánicas. De ésta manera se realizó una caracterización mecánica de un sistema curvo de elementos de guadua no encoladas, documentando desde el trabajo de una lata corta plana hasta una bóveda conformada por latas de guadua. Para alcanzar los objetivos, se realizaron pruebas a probetas de latas de guadua no encoladas basadas en pruebas realizadas a probetas de guadua encoladas y probetas de madera, encontrando, principalmente, que el trabajo de dicho sistema siempre es a tracción.

1 INTRODUCCIÓN

La tierra ha sido usada de diversas maneras según el espacio geográfico en donde se desarrollen las construcciones, las principales en el contexto local han sido el adobe, la tapia pisada y el bahareque (Henneberg de León, 2016) que es la técnica constructiva que ocupa ésta investigación. A continuación, se hace una lectura sobre el estado de los avances de la técnica constructiva bahareque y las estructuras de latas de guadua.

1.1 Bahareque

El bahareque es un sistema mixto de fácil construcción y resistente a sismos, compuesto por madera o bambú y tierra con fibras vegetales o animales. Consiste en la elaboración de una estructura portante en madera o guadua, con una serie de costillas en el mismo material, dispuestas a distancias regulares al interior del armazón principal como estructura de soporte del material de relleno, tierra y fibras, para completar el cerramiento (Kamisnki et al., 2015a).

En la actualidad al bahareque se le han introducido mejoras que han ampliado su resistencia frente a las condiciones ambientales y geológicas. El bahareque encementado es un ejemplo de ello en el cual aparece una malla de gallinero como refuerzo en el corazón del muro y un revoque de cemento como acabado (Kaminski et al., 2015b). Además, se han diseñado paneles prefabricados que cuentan con un tejido de latas de bambú entre una estructura de madera en el cual se reducen tiempos de construcción debido a la elaboración simultánea de la estructura en madera y el tejido de bambú (Carazas; Rivero, 2002).

En este sentido, investigaciones más recientes han llevado su interés por mejorar este sistema, buscando una mejor comprensión de su comportamiento mecánico donde se identifican fallas por la existencia de nudos en un elemento del bastidor y las fallas predominantes en el triángulo superior a la diagonal que cruzaba todo el marco o en el triángulo inferior. En cuanto a los ensayos de corte, las fallas se presentaron con un menor esfuerzo en las conexiones de elementos, motivo por el cual se trabajaría en mejorarlas.

También, se han realizado ensayos con prototipos de bahareque a escala con distintas variaciones geométricas en los que se han examinado propiedades como rigidez, resistencia, disipación de energía y ductilidad (Málaga-Chuquitaype et al., 2014). Ésta investigación arrojó la posibilidad de mejorar las propiedades del sistema con una mayor adición de cemento o la inclusión de mallas de cables, ya que sin el uso de estos se registraron derivas de un 20%, mientras que con su uso estas se redujeron a entre 3-5%. Y, finalmente, un ejemplo de la buena convivencia entre la guadua y el bahareque está en el ensayo de un pórtico de guadua rigidizado con un panel de bahareque donde la introducción de éste último al sistema, permitió la reducción de derivas de un 50% y un aumento de la resistencia en un 40% (Herrera et al., 2009).

1.2 Ensayos con latas de guadua encoladas – Ausencia de estudios de ensayos con latas de guadua no encoladas

En el caso de la guadua se realizó un estudio en el cual se hizo un análisis del comportamiento a la cizalladura de vigas encoladas laminadas de Guadua angustifolia Kunth, conformadas por latas de guadua unidas por sus cantos y caras dispuestas en la misma dirección de las fibras y conformando una sola unidad estructural (González et al., 2008). La investigación en torno al encolado ha arrojado nuevos pegamentos que han permitido dilatar las aplicaciones de dichas estructuras, así como también han ampliado su difusión (González et al., 2009). La investigación acerca del comportamiento a la cizalladura toma como modelo los ensayos realizados en estructuras de madera laminada y lo aplica para el caso de la guadua laminada (González et al., 2008).

Años más tarde se hace una importante caracterización mecánica de estructuras de bambú y guadua laminado prensado y pegado (BGLPP) donde la investigación plantea una transformación de la guadua a un material más industrializado del cual se pueda tener control sobre sus propiedades y sus dimensiones. Además, agrega la importancia de que el proceso y el material se tecnifiquen para facilitar y optimizar procedimientos durante el montaje. La versatilidad técnica como espacial que ofrece este material es otra de las bondades que se resaltan (Takeuchi, 2014).

También, una investigación experimental reciente trata una escala micro del mecanismo de falla y deformación de hilos de fibra de bambú paralelos (PBSL, por sus siglas en inglés), bajo distintas cargas a compresión de manera detallada. Las muestras empleadas fueron probetas de 25mm de lado para poder tener una visión clara de la falla. Allí se observó un patrón claro de incidencia de la altura de las probetas en la falla. La capacidad de deformación y la relación de absorción de energía para muestras más largas no se vieron muy afectadas por las orientaciones de la fibra y, por lo tanto, se consideran más apropiadas para probar el comportamiento de compresión de las muestras PBSL (Li et al., 2019).

Otra investigación expone el comportamiento a la compresión bajo carga de compresión axial cíclica. Bajo dicha carga, los modos de falla exhibidos de las probetas de bambú de fibra paralelas fueron pandeo, cizallamiento y división. En la falla de pandeo, las fibras de bambú se doblaron hacia afuera; en la falla de corte, se formaron dos grietas en las superficies opuestas; en la falla por división, algunas pequeñas grietas se expandieron por una grieta principal hasta atravesar toda la columna, ver figura 2. Al enfrentar los resultados con una estructura de concreto, se encontró una menor deformación plástica del bambú (Wei et al., 2020).

Otros elementos identificados de gran valor, por el trabajo en conjunto con materiales industrializados, son las columnas huecas compuestas por tubos de acero/bambú laminado

(SBCCB, por sus siglas en inglés). Allí, un tubo de acero hueco de paredes delgadas de un SBCCB puede reducir la relación de esbeltez y, en consecuencia, mejorar la capacidad de carga de compresión crítica de las muestras (Zhao et al., 2020).

Finalmente, una investigación de la compresión de probetas cortas para la clasificación estructural de Guadua angustifolia determinó que la densidad proporciona confianza al estimar la resistencia a la compresión si se asume un área de sección transversal hueca, mientras que, la masa resulta útil para estimar la capacidad de carga compresiva (Bahtiar et al., 2020).

1.3 Sistemas curvilíneos de bahareque

Existen construcciones de carácter monumental, como iglesias, en las cuáles se ha empleado el bahareque de manera sinuosa, en lo que se ha denominado el "mayor atrevimiento estructural", en elementos constructivos como las bóvedas (López Pérez; Ruiz Valencia, 2010; Marussi, 1986). Al igual que los muros de bahareque tradicionales, las bóvedas cuentan con un bastidor de madera como esqueleto, un entramado auxiliar y un relleno en tierra mientras que la cercha aparece como elemento adicional para conferirle total estabilidad al sistema (Marussi, 1986).

Finalmente, están los antecedentes más importantes para ésta investigación. Por un lado, el diseño de un sistema de cubiertas denominado "domocaña" donde se realizaron prototipos y se hicieron pruebas dinámicas para determinar el trabajo ante sismos, identificando trabajos a tracción y compresión, fácil fabricación y bajos costos (Barrionuevo, 2011). Un trabajo más reciente hace un inventario de construcciones que se han ejecutado el sistema "domocaña" con la motivación de estimular la profundización e investigación de innovaciones tecnológicas basadas en dicha técnica (Ángel; Garzón, 2017), lo cual constituye un importante punto de partida, junto a los elementos de latas de guadua no encoladas, para la presente investigación.

2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los siguientes objetivos abarcaron un proceso de investigación y experimentación en la implementación de un nuevo sistema constructivo donde se espera sentar las bases mecánicas para la optimización de algunas cualidades sin perder otras.

- Caracterizar mecánicamente (mediante ensayos de compresión) elementos estructurales de latas no encoladas de guadua.
- Determinar el comportamiento mecánico de un módulo curvo con elementos estructurales de lata de guadua.
- Establecer la estructura base para un sistema de cascarones de bahareque.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo pruebas de distintas características que abarcaron desde arcos curvos de latas de guadua *angustifolia kunth* mecanizadas por ambas caras de las latas hasta latas cortas de guadua sin curvar.

3.1 Materiales

Para la investigación se usaron latas de guadua *angustifolia kunth* sin cepillado en la cara externa de sílice y con los nudos cepillados en la cara interna de la lata, de 3 m de longitud por 3.5 cm de ancho y 12 mm de espesor procedentes de Montenegro, Quindío.

3.2 Herramientas

Se usaron anillos metálicos de hierro de 2.1 m de diámetro usados como guía para la conformación de los arcos, prensas manuales en C para el curvado paulatino de cada lata de guadua apoyadas entre nudos, alambre recocido negro para amarrar la lata la guía en cada

prensado que se iba realizando, alicates (figura 1), cortafríos, cinta de acero y hebillas de 3/8" para zunchar las latas que se amarraran, sunchadora para cinta de acero de 3/8" y cegueta para cortar los sobrantes de cada arco.

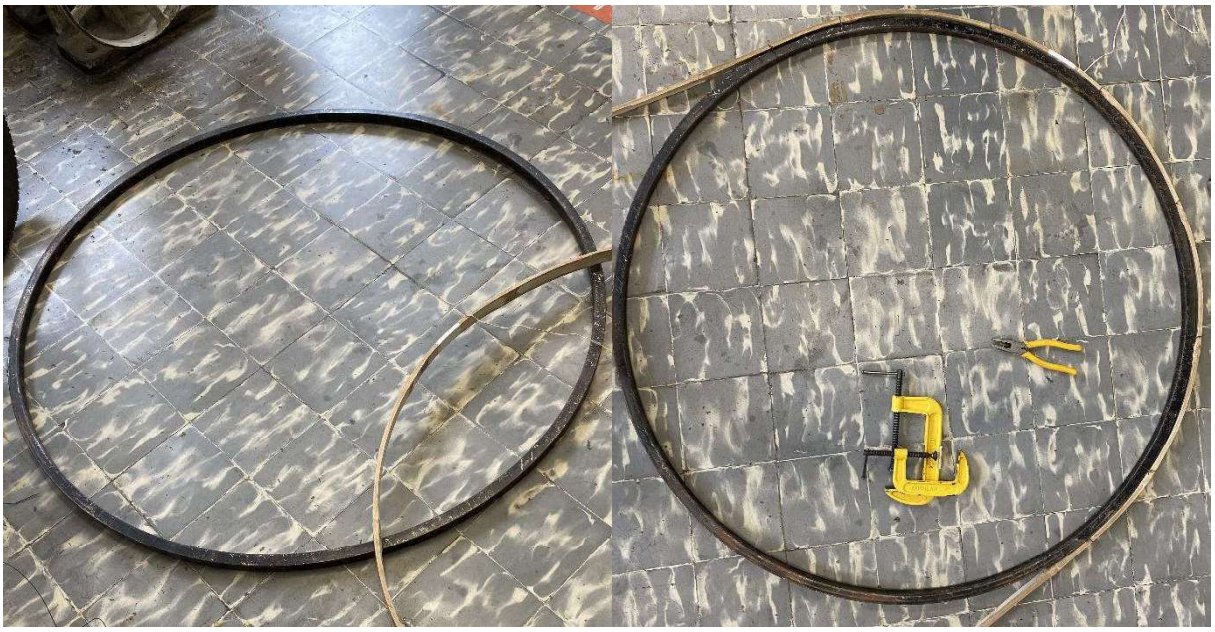

Figura 1. Derecha: Anillo metálico de hierro de 2.1 m de diámetro; izquierda: anillo metálico con lata amarrada con alambres recocidos negros, prensas en C y alicates

3.3 Equipos electrónicos

Para la medición de las distintas propiedades mecánicas de las latas, se usaron galgas extensiométricas de 210 de gate factor para medir la deformación de las latas de guadua junto a puentes de Wheatstone (figura 2), deflectómetro para medición de la deflexión, máquina universal Shimadzu para la aplicación de cargas de compresión (figura 3) y finalmente, software SAP.

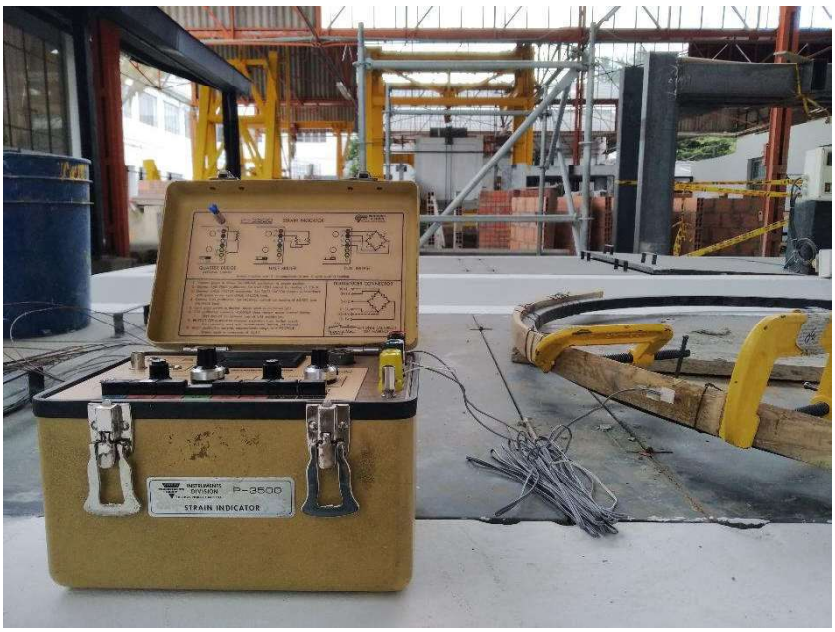

Figura 2. Proceso de amarrado de lata con galga extensiométrica y puente de Wheatstone

Figura 3. Derecha: lata de guadua con galga extensiométrica y puente de Wheatstone sometido a compresión en máquina universal; izquierda: lata de guadua con galga extensiométrica, puente de Wheatstone y deflectómetro sometida compresión en máquina universal

3.4 Propiedades

Con ayuda de la galga extensiométrica y el puente Wheatstone se determinaron las deformaciones que se daban en la lata de guadua, la máquina universal permitió identificar el tiempo y la carga en la cual falla la lata de guadua, el deflectómetro permitió medir la deflexión de la lata de guadua y con los datos obtenidos de varias pruebas se determinó el módulo de elasticidad con la fórmula:

$$E = \frac{mL^3}{48I}$$

Donde E: módulo de elasticidad, m: pendiente de la recta de carga vs. deformación, L: longitud del arco de lata de guadua, I: momento de inercia de la lata, obtenido de la siguiente fórmula:

$$I = \frac{bh^3}{13}$$

Donde b: ancho de la lata de guadua, h: altura de la lata de guadua (sección transversal).

3.5 Procedimientos

a) Lata de guadua corta con galga extensiométrica

Se montó la lata en la máquina universal, estableciendo dos apoyos articulados a una distancias de 33.1 cm y 41.5 cm entre ellos según la lata fallada (figura 4), se identificó el punto medio de la lata en el cual se va a ejercer la carga, se ubicó el deflectómetro en el punto medio de la galga para medir la deflexión de la lata, se inició la máquina para ejercer compresión sobre la lata, evitando llevarla hasta la falla, se puso a oscilar la carga de la máquina universal sobre la lata para tomar datos de deflexión y deformación y finalmente se colocó la lata al contrario para tomar los datos de deflexión y deformación en el otro sentido. (tabla 1)

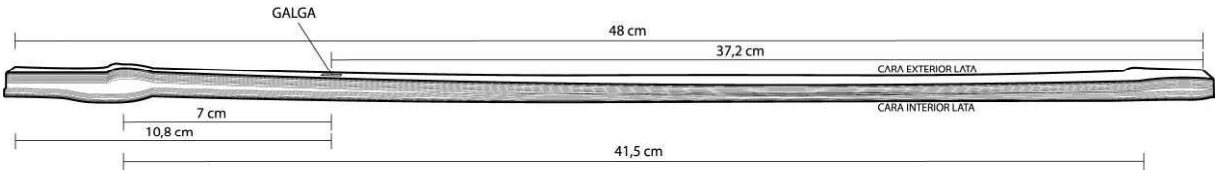

Figura 4. Esquema de lata corta de guadua con galga extensiométrica

b) Arco de una lata de guadua con galga extensiométrica

Se montó el arco en la máquina universal (figura 5), estableciendo dos apoyos empotrados, se identificó el punto medio del arco en el cual se va a ejercer la carga, se removió el tensor para que el arco trabaje independiente sin elementos que interfieran en los resultados (tabla 2) y finalmente se inició la máquina universal para ejercer compresión sobre el arco hasta llevarlo a la falla, mientras se toman datos de deformación del puente de Wheatstone cada 5kgf que va aplicando la máquina universal sobre la lata.

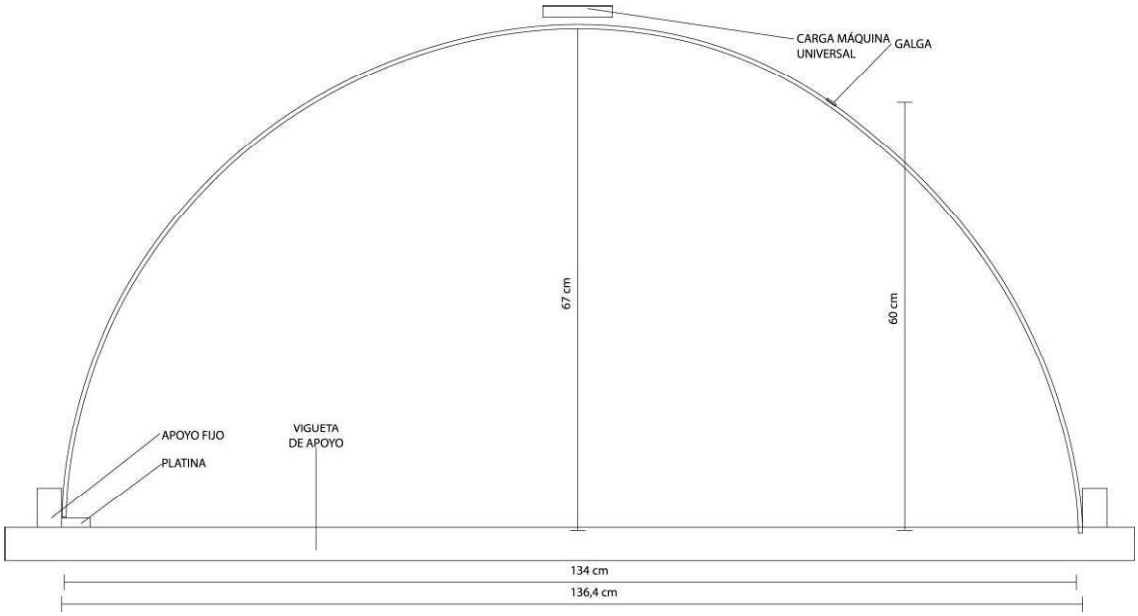

Figura 5. Esquema de arco de una lata de guadua con galga extensiométrica en máquina universal

Tabla 1. Carga (kgf) vs. deformación en arco de una lata de guadua con galga extensiométrica

Velocidad					
0,5 mm/min		1 mm/min		5 mm/min	
Carga	Deformación	Carga	Deformación	Carga	Deformación
0,5	4470	13,5	4984	31	5970
1	4487	14	5000	31,5	6000
1,5	4500	14,5	5025	32	6020
2	4517	15	5045	32,5	6040
2,75	4555	15,5	5065	33	6105
3,35	4566	16	5085	34	6165
4	4587	16,5	5104	35	6230
4,5	4612	17	5125	36	6340
5	4630	17,5	5150	37	6450
5,5	4639	18	5180	38	6560
6	4653	18,5	5210	39	6698
6,5	4676	19	5235	40	6805

7	4697	19,5	5260	41	6930
7,5	4721	20	5295	42	7040
8	4736	20,5	5325	42,5	7128
8,5	4758	21	5350	42,18	7156
9	4784	21,5	5380	42,42	7160
9,5	4797	22	5415	42,45	7140
10	4815	22,5	5440	42,39	7125
10,5	4843	23	5475	42	7110
11	4865	23,5	5505	37,35	6970

c) Arco de cinco latas de guadua

Se montan los arcos en la máquina universal, estableciendo dos apoyos empotrados, se identifica el punto medio del arco en el cual se va a ejercer la carga, se remueven las trabas para que el arco trabaje independiente sin elementos que interfieran en los resultados y finalmente se inició la máquina universal para ejercer compresión sobre el arco hasta llevarlo a la falla.

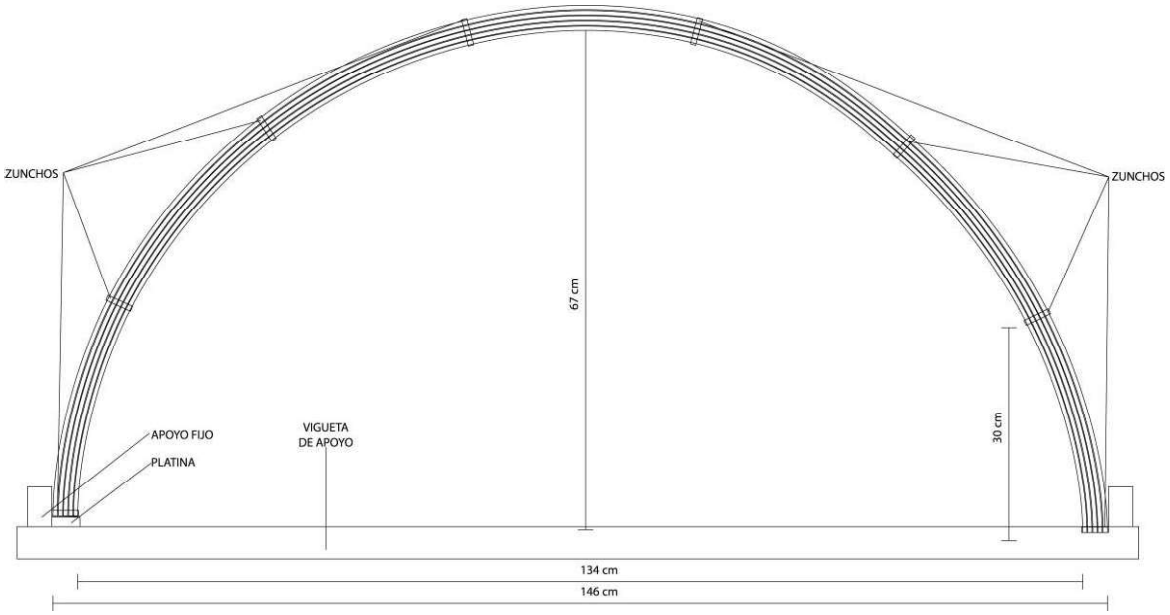

Figura 6. Esquema de arco de cinco latas de guadua en máquina universal

d) Bóveda con latas de guadua no encoladas

Se montó la bóveda en la máquina universal (figuras 7, 8 y 9), estableciendo dos apoyos empotrados con platinas dispuestas de manera perpendicular en los extremos de la bóveda, se identificó el punto medio de la bóveda en el cual se va a ejercer la carga, colocando una platina que distribuya la fuerza, se removieron las trabas para que la bóveda trabaje independiente sin elementos que interfieran en los resultados y finalmente se inició la máquina para ejercer compresión sobre la bóveda hasta llevarla a la falla.

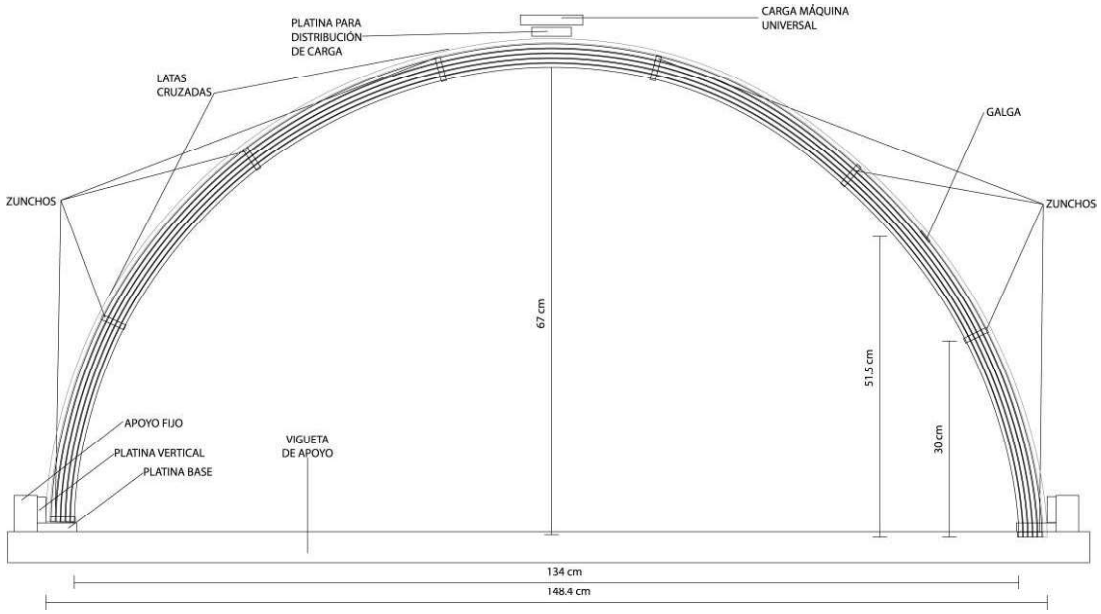

Figura 7. Esquema lateral de bóveda de doble arco de cinco latas de altura por dos latas de ancho con galga extensiométrica en máquina universal

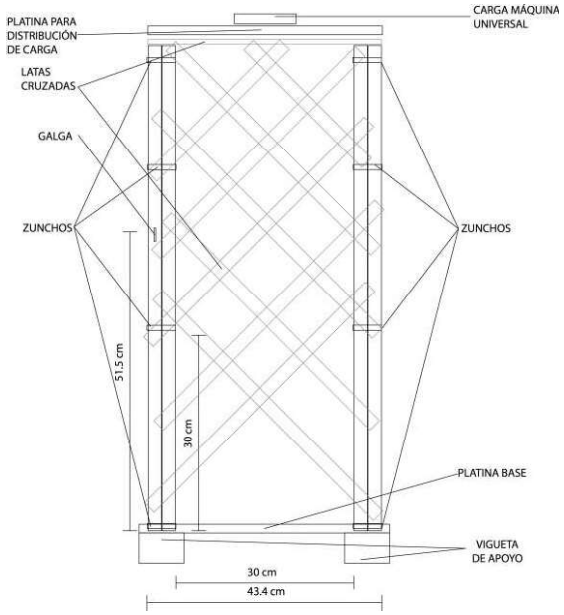

Figura 8. Esquema frontal de bóveda de doble arco de cinco latas de altura por dos latas de ancho con galga extensiométrica en máquina universal

Figura 9. Bóveda de doble arco de cinco latas de altura por dos latas de ancho con galga extensiométrica en máquina universal

4 RESULTADOS

Se realizó un análisis numérico de los arcos donde se tomaron dos consideraciones: la primera asume una sección transversal sólida compuesta por la suma de las alturas (h) de las latas y la segunda una sección transversal donde la inercia (I) de los arcos es igual a la suma de la inercia de cada una de las latas que lo componen.

A continuación, se generaron modelos en SAP2000 donde se tomaron en cuenta las dos consideraciones. Se obtuvo un resultado teniendo en cuenta la suma de las alturas para arcos de 2 latas donde la diferencia porcentual se aproximaba a los resultados arrojados por el modelo (tabla 2).

Tabla 2. Desplazamientos comparativos para un arco de dos latas

Arco de 2 latas	Desplazamiento (mm)		Diferencia porcentual	
	6 kg	10 kg		
Promedio experimental	1.22	2.19	-	-
Modelo 2 h	1.18	1.95	3%	11%
Modelo 2 I	4.64	7.69	70%	73%

Sin embargo, a medida que se aumentan la cantidad de latas en los arcos, la diferencia porcentual se hace mayor, por lo cual se concluye que para arcos de más de 3 latas no se debe considerar el arco como una sección transversal sólida compuesta (tabla 3). En este caso, se recurre a la segunda consideración (tabla 4),

Tabla 3. Desplazamientos comparativos para un arco de tres latas

Arco de 3 latas	Desplazamiento (mm)		Diferencia porcentual	
	6 kg	10 kg		
Promedio experimental	0.93	1.85	-	-
Modelo 3 h	0.36	0.60	61%	68%
Modelo 3 I	3.1	5.15	233%	179%

Tabla 4. Desplazamientos de un arco de tres latas en función de la de relación de inercias

Arco de 3 latas	Desplazamiento (mm)		Diferencia porcentual	
	6 kg	10 kg		
Promedio experimental	0.93	1.85	-	-
9I	1.07	1.77	12.63%	4.45%
10I	0.96	1.60	3.41%	15.49%
9.5I	1.01	1.68	8.01%	9.98%

Para finalizar, se estableció una relación entre el factor de inercia (F.I) y el número de latas en los arcos (n) mediante una regresión múltiple, dada por la ecuación:

$$F.I = -0.1667\, n^2 + 2.8333n + 2.5$$

5 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

La presente investigación permitió determinar mediante ensayos de compresión el comportamiento que presentan las latas de guadua como unidad y como parte de un sistema. La caracterización hecha mediante la aplicación de fuerzas perpendiculares a la clave de los arcos determinó que las latas, a pesar de estar sometidas a compresión, presentan un trabajo continuo a tracción desde el momento de su curvado hasta la falla en el corte presentado en lo que serían las dovelas del arco.

Además, se determinó mediante las pruebas de arcos de distintas cantidades de latas y distribuciones de zunchado, que las latas de guadua no encoladas permiten una mayor

versatilidad en el manejo de estructuras curvas de guadua. Al someterlas a cargas de compresión se dedujo que una cantidad baja de latas de guadua en una matriz de latas puede proporcionar una alta resistencia. Por otra parte, teniendo en cuenta que un sistema de latas de guadua laminadas encoladas presenta un funcionamiento más aproximado a un elemento macizo, el sistema de latas de guadua no encoladas presenta una mayor ductilidad debida a la presencia de zunchos metálicos.

Dados los resultados de someter a compresión desde una lata corta hasta una bóveda con latas de guadua no encoladas, se establece la base estructural para la conformación de cáscaras donde el siguiente paso sería el montaje de un prototipo espacial que permita identificar el trabajo completo del sistema con una carga muerta de tierra y fibras vegetales en un sistema de cascarones de bahareque, teniendo en cuenta que con las propiedades identificadas hasta ahora, ya se puede realizar un pre -dimensionado mejor aproximado para dicho prototipo.

Finalmente, los procesos experimentales llevados a cabo en esta investigación, confirman el funcionamiento de las construcciones que ya se han desarrollado con este sistema constructivo y además proporcionan una nueva herramienta para el pre -dimensionado de los elementos estructurales para el mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ángel, C.; Garzón, L. (2017). Aplicación de la guadua para la construcción de cubiertas con tierra, basadas en el “domocaña.” Revista Nodo, 12(23), 49–61.

Bahtiar, E. T.; Trujillo, D.; Nugroho, N. (2020). Compression resistance of short members as the basis for structural grading of Guadua angustifolia. Construction and Building Materials, 249, 118759. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118759

Barrionuevo, R. (2011). Investigación tecnológica aplicada: Domocaña. Informes de La Construccion, 63(523), 51–58. https://doi.org/10.3989/ic.10.025

Carazas, W.; Rivero, A. (2002). Guía de construcción parasísmica. Ediciones CRATerre. https://craterre.hypotheses.org/files/2017/05/guia_de_construccion_parasismica.pdf

González, H. Á.; Hellwig, S.; Montoya, J. A. (2008). Comportamiento a la cizalladura de vigas encoladas laminadas de Guadua angustifolia KUNTH. Scientia Et Technica, XIV(39), 428–433. https://doi.org/10.22517/23447214.3283

González, H. A.; Hellwing, S.; Montoya, J. A. (2009). Determinación del adhesivo óptimo en la fabricación de vigas de bambú (Guadua angustifolia). Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial, 7(1), 67–75.

Henneberg de León, A. (2016). Tradición constructiva del bahareque y su resistencia sísmica. Arquitectura en Tierra Patrimonio Cultural XII CIATTI 2015, 25(June), 17–24.

Herrera, J. C.; Takeuchi, C. P.; Herrera Martínez, J. C.; Takeuchi Tam, C. P. (2009). Comportamiento de pórticos en guadua angustifolia, rigidizados mediante páneles prefabricados en bahareque. Ingeniería e Investigación, 29(3), 5–12. http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v29n3/v29n3a01.pdf

Kaminski, S.; Lawrence, A.; Coates, K.; Foulkes, L. (2015a). A low-cost vernacular improved housing design. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering, 169(5), 25–31. https://doi.org/10.1680/jcien.15.00041

Kamisnki, S.; Lawrence, A.; Trujillo, D. (2015b). Guía de diseño para la vivienda de bahareque encementado. In INBAR (Ed.), Society. INBAR.

Li, X.; Ashraf, M.; Li, H.; Zheng, X.; Wang, H.; Al-Deen, S.; Hazell, P. J. (2019). An experimental investigation on parallel bamboo strand lumber specimens under quasi static and impact loading. Construction and Building Materials, 228, 116724. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116724

López Pérez, C.; Ruiz Valencia, D. (2010). Bóvedas de madera y bahareque en iglesias coloniales bogotanas. Estudio de cuatro iglesias del siglo XVII. Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies, 23(1), 70–83.

Málaga-Chuquitaype, C.; Kaminski, S.; Elghazouli, A. Y.; Lawrence, A. (2014). Seismic response of timber frames with cane and mortar walls. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings, 167(12), 693–703. https://doi.org/10.1680/stbu.13.00090

Marussi, F. (1986). Bóvedas a base de quincha en las del Perú. Informes de La Construcción, 37(377).

Takeuchi, C. P. (2014). Caracterizacióm mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural (Issue c) [Universidad Nacional de Colombia]. https://doi.org/10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2014.11.051

Wei, Y.; Tang, S., Ji, X.; Zhao, K.;Li, G. (2020). Stress-strain behavior and model of bamboo scrimber under cyclic axial compression. Engineering Structures, 209(January), 110279. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110279

Zhao, W.; Luo, Z.; Li, Y. (2020). Axial compression testing of bamboo-laminated encased steel tube composite columns. Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering, 44(2), 645–655. https://doi.org/10.1007/s40996-020-00381-1

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a José Darío Moreno Pineda y al Instituto de Extensión e Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, por su colaboración y aportes durante la etapa experimental de la investigación. Así mismo agradece al estudiante de ingeniería civil, Daniel Martínez por sus aportes durante la etapa de procesamiento de datos obtenidos de la fase experimental.

AUTORES

Andrés Felipe Ramírez Ospina, aspirante a maestro en construcción, arquitecto; diplomado en Bio-Construcción de la Fundación Organizmo, arquitecto estructurador de proyectos de reforzamiento y ampliación de viviendas en condiciones de vulnerabilidad en el programa de la Alcaldía Mayor de Bogotá, Plan Terrazas

Mariana Mahecha Suárez, estudiante de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Colombia, miembro del Semillero de Estructuras en Madera y Bambú.

Caori Patricia Takeuchi Tam, doctora en Ingeniería Ciencia y Tecnología de Materiales, maestra en estructuras, maestra en Problem Based Learning profesora titular de la Universidad Nacional de Colombia e Investigadora, ex-coordinadora del Postgrado de estructuras en diferentes períodos y Directora del Área Curricular de Ingeniería Civil y Agrícola de la Universidad Nacional.