

METODOLOGÍA PARA ELABORACIÓN DE CASCARONES DE BAHAREQUE CON LATAS DE GUADUA NO ENCOLADAS

Andrés Felipe Ramírez Ospina¹, Caori Patricia Takeuch Tam²

¹Facultad de Artes, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, anframirez@unal.edu.co

²Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, cptakeuchit@unal.edu.co

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

Resumen

La exploración de los sistemas constructivos tradicionales, la recuperación de su vigencia y la adaptación a las nuevas realidades, han surgido ante la creciente preocupación de diversos actores en torno a los problemas ambientales debidos a las altas generaciones de residuos y gastos energéticos causados por la industria de la construcción, principalmente, junto a la intención de recuperación de una memoria histórica a través de los materiales y la tectónica de las edificaciones tradicionales. Ante esto, el presente artículo expone la continuación de la investigación en torno a la exploración del proceso constructivo y funcionamiento de un sistema de bahareque curvo que sea sostenible ambiental, económica y socialmente, mientras establece las bases de futuras exploraciones. La metodología expuesta marca algunos de los lineamientos que se deben tener en cuenta para la construcción de un sistema constructivo de cascarones de bahareque donde en paralelo se van ajustando variables con base en la comprensión de los materiales y el sistema constructivo en sí mismo, buscando de esta manera las vías para una futura estandarización que permita una mayor confianza en este tipo de técnicas por parte de los usuarios. De esta manera, se llevaron a cabo una serie de talleres de guadua y tierra que involucraron a estudiantes del Semillero de Estructuras en Madera y Bambú (SEMBU) de la Facultad de Ingeniería y del curso de Arquitectura en Tierra de la Facultad de Artes de la Universidad Nacional de Colombia, donde paralelo a la construcción del prototipo se incentivó la generación de material académico más específico acerca de los comportamientos mecánicos o las posibilidades formales y materiales, que puede llegar a tener un sistema que, al final de la investigación, nos indica que es capaz de soportar la carga muerta de la tierra.

1 INTRODUCCIÓN

El presente artículo es la continuación de la investigación presentada en el SIACOT 21 (Ramírez Ospina et al, 2023), donde se expusieron los ensayos realizados antes de avanzar con la elaboración del prototipo de cascarón de bahareque. A continuación, se hace un resumen de la ruta de investigación que se ha tomado para llegar al resultado concluyente del trabajo de tres años.

1.1 Bahareque y domocaña

El punto de partida es el bahareque, un sistema mixto de madera o bambú y tierra con fibras vegetales. Para dicho sistema se han introducido mejoras que comprenden materiales industrializados como cemento o mallas de gallinero, con el objetivo de mejorar su resistencia ante solicitaciones sísmicas o condiciones ambientales (Kamiski et al., 2015) y se ha llegado a la combinación de madera y bambú en la elaboración de paneles prefabricados de bahareque (Carazas; Rivero, 2002).

Algunas investigaciones interesadas en mejorar la capacidad portante del bahareque, han determinado que las fallas de los sistemas de bahareque se dan principalmente en las conexiones (Cuitiño et al., 2015). Otros ensayos han determinado que la inclusión de cemento o mallas de cables pueden disminuir los porcentajes de las derivas (Málaga-Chuquitaype et al., 2014). Adicionalmente, la combinación de pórticos de guadua con rellenos de bahareque pueden aumentar la resistencia del pórtico de guadua (Herrera et al., 2009).

Las referencias formales más próximas son, por un lado, las bóvedas de algunas iglesias en Perú que constan de marcos de madera y un diafragma de entramado de madera y tierra (Marussi, 1986; (López Pérez; Ruiz Valencia, 2010). Por otra parte, están los ensayos e inventarios realizados sobre sistemas de domocaña (Barrionuevo, 2011; Ángel; Garzón, 2017).

1.2 Estructuras con latas de guadua y ensayos de flexo-compresión en latas de guadua

Las estructuras con latas de guadua no encoladas se han ido desarrollando y propagando a través de diversos estudios y talleres de bio construcción. Entre ellos destaca el arquitecto Jaime Peña, cuyas innovaciones han llevado a desarrollar un variopinto de posibilidades formales y de escala con este sistema. Durante el año 2020, se desarrolló en la fundación Organismo en Tenjo, Cundinamarca, Colombia¹, una casa de pensamiento en forma de toroide que actuó como semilla de esta investigación. Cuatro años más tarde, en la fase final de la investigación, un taller en la fundación Cultivarte en Anapoima, Cundinamarca, Colombia, sirvió para tener una comprensión más profunda del sistema constructivo, identificando maneras distintas de construir para llegar a los resultados formales y estructurales observados antes.

Por otra parte, los antecedentes directos de ensayos corresponden a las pruebas llevadas a cabo sobre estructuras laminares de guadua que, aunque tratan elementos mucho más industrializados con latas de guadua completamente mecanizados y el uso de pegamentos industriales, proporciona las herramientas metodológicas para aplicar ensayos sobre las estructuras de viga-lata (Takeuchi, 2014).

Finalmente, en la primera fase de esta investigación se llevaron a cabo ensayos de flexo-compresión aplicados a latas de guadua cortas, arcos de latas de guadua simples y arcos compuestos por una, dos, tres y cinco latas. Además, se desarrolló un prototipo espacial correspondiente a una bóveda compuesta por dos arcos de viga-lata de dos latas de base por cinco latas de altura y un diafragma diagonal a 45 grados. Los distintos elementos fueron sometidos a esfuerzos en una máquina universal y algunos contuvieron una galga extensiométrica para medir deformaciones y proporcionar datos para definir módulo de elasticidad y correlaciones de inercia (Ramírez Ospina et al., 2023; Mahecha Suárez et al., 2023).

En cuanto a los cálculos realizados de los datos obtenidos, se desarrollaron modelos en SAP para definir una ecuación de correlación de la inercia frente a los desplazamientos obtenidos de cada uno de los ensayos ejecutados. La principal conclusión de dicho estudio fue la alta eficiencia presentada en arcos conformados por dos latas de guadua, indicando la posibilidad de usar pocos elementos para la conformación de arcos de viga-lata, pero señalando la necesidad de llevar a cabo estudios más profundos sobre elementos conformados por más latas (Mahecha Suárez et al., 2023).

2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los siguientes objetivos abarcaron un proceso de investigación y experimentación en la implementación de un sistema constructivo que cada vez tiene mayor difusión, donde se espera sentar las bases mecánicas y metodológicas para la optimización del sistema y el proceso constructivo.

- Analizar datos y definir las bases de pre dimensionado con base en ensayos de flexión y compresión de elementos estructurales de latas no encoladas de guadua.
- Determinar el comportamiento a flexión y compresión de un módulo curvo con elementos estructurales de lata de guadua sin recubrimiento y con recubrimiento de tierra y fibras vegetales.

¹ Con asesoría de Jaime Peña

- Establecer las bases metodológicas para la elaboración de cascarones de bahareque con elementos conformados por latas de guadua no encoladas.

3 MATERIALES Y METODOLOGÍA

Se desarrolló un prototipo de cáscara de bahareque compuesto por cuatro elementos curvos de arcos de viga-lata de dos latas de base y cinco latas de altura y un diafragma estructural de latas de guadua conformado por dos capas donde la capa superior unía los dos arcos de menor altura, mientras que la capa superior unía los arcos de mayor altura. Se usó guadua angustifolia kunth tratada y al final se aplicó una capa de tierra estabilizada con arena y heno para el recubrimiento de la estructura.

3.1 Materiales

Para la construcción de la estructura se usaron latas de guadua angustifolia kunth de 4.00 m de longitud, 3 cm de ancho y un espesor promedio de 12 mm, tratada con ácido bórico para su inmunización y procedentes de Río Frío, Valle del Cauca, Colombia. A continuación, para el recubrimiento de la estructura se usó tierra procedente de la excavación de la construcción del Bloque A del edificio Nuevos Espacios para las Artes de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, arena y fibras vegetales de heno.

3.2 Herramientas

Se diseñó un marco metálico cuadrado de 2.00 m de lado y 0.025 m de altura, con cuatro cajas dispuestas en las esquinas de 0.15 m x 0.15 m, sobre las cuáles se soldaron dos platinas de 0.04 m de base y 0.08 m de altura, inclinadas a 15° para empotrar los arcos que actuarían como principal elemento estructural (figura 1). El marco se conformó por cuatro L que se unían mediante pernos para su fácil transporte (figura 2). La herramienta menor utilizada fue: decámetro, flexómetro, alicates, cortafíos, tornillos autoperforantes para madera de 30 mm y de 40 mm, cinta de acero y hebillas de 3/8", sunchadora, taladro, cegueta, reata, eslinga y amarres plásticos, para la etapa de elaboración de la estructura. Para la fase de la envolvente en tierra, se usó un bobcat para el trasiego del material de la excavación al lugar del montaje y como herramienta menor, palas, pica y baldes.

3.3 Software

En la fase de diseño del prototipo, se usó Revit para la definición de la base soporte de la estructura y Rhino + Grasshopper para el modelado de estructura paramétrica conformada por 4 arcos dispuestos en un cuadrado de 2.00 m x 2.00 m, inclinados a 15° (figura 3). Del modelo se obtendrían los datos necesarios para el montaje de las guías de armado de las vigas-lata y la altura central de la estructura. El análisis de la estructura se llevó a cabo mediante el software SAP de ingeniería, en el cual se asumió la estructura como una shell.

4 PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo estuvo conformado por dos fases: la fase de estructura y la fase de envolvente.

La fase de estructura se inició definiendo cuatro guías de estacas de guadua, cuyas coordenadas en X y Y para el arco interior se tomaron del árbol del software Grasshopper y para el arco exterior se tomó la medida de altura proyectada de la viga-lata, perpendicular al centro del arco. Para los arcos mayores se usaron 12 estacas para cada uno, distribuidas en seis estacas internas y seis externas, mientras que para los arcos menores se usaron diez estacas para cada uno distribuidos en cinco internas y cinco externas (figura 4).

Una vez realizadas las guías, se procedió a la conformación de los arcos viga-lata; dos arcos mayores de 1.00 m de altura (figura 5) y dos arcos menores de 0.68 m de altura interior

(figura 6). Los cuatro quedaron compuestos por dos latas de base y cinco de altura. El montaje se realizó introduciendo lata por lata en un extremo de la guía y generando la curvatura a través de las estacas. El proceso se repitió diez veces para cada arco. Al conformarse los arcos, se procedió a zunchar con cinta metálica y hebillas de 3/8" a cada 40 cm aproximadamente. Después del proceso de zunchado, se atornillaron a cada arco tres latas de guadua en diagonal con el objetivo de trabarlos y evitar que se abrieran al retirarlos de las guías. Antes de retirar los elementos, se cortan los excesos en cada extremo de los arcos (figura 7).

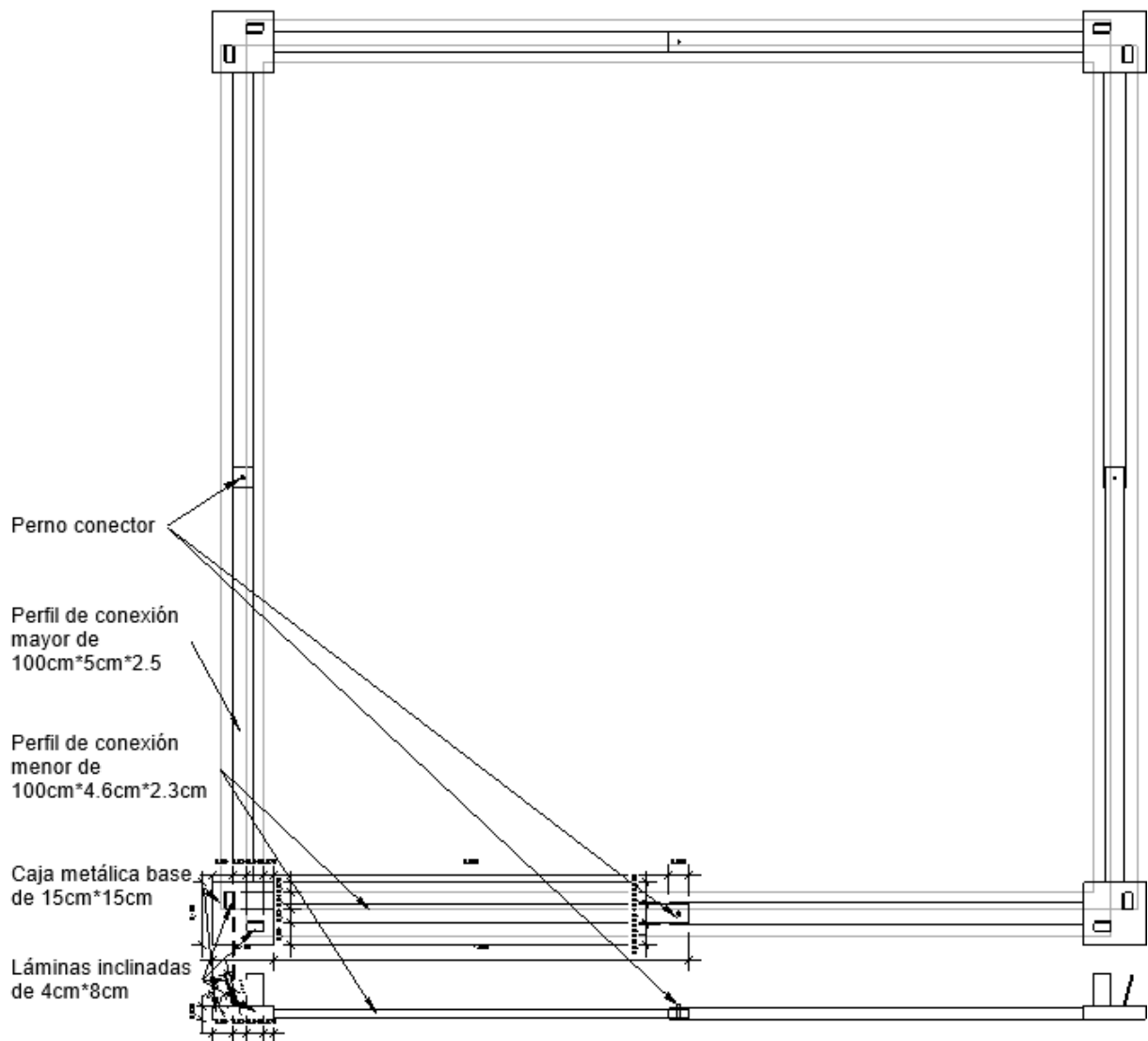


Figura 1. Boceto de diseño de base para empotramiento de la estructura



Figura 2. Izquierda: marco metálico base armado; Derecha: detalle de unión de dos L que conforman el marco metálico

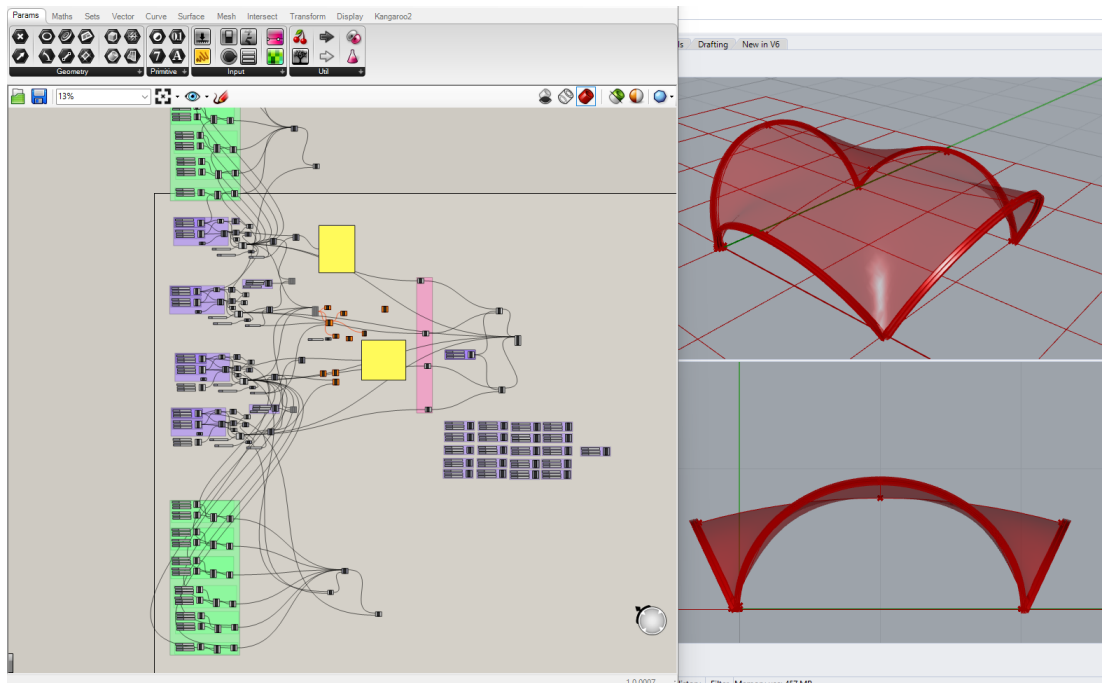


Figura 3. Elaboración de modelo paramétrico de prototipo con variables de ángulo, altura y radio



Figura 4. Derecha: proceso de elaboración de guías para conformación de vigas-lata; Izquierda: guía elaborada para arco menor

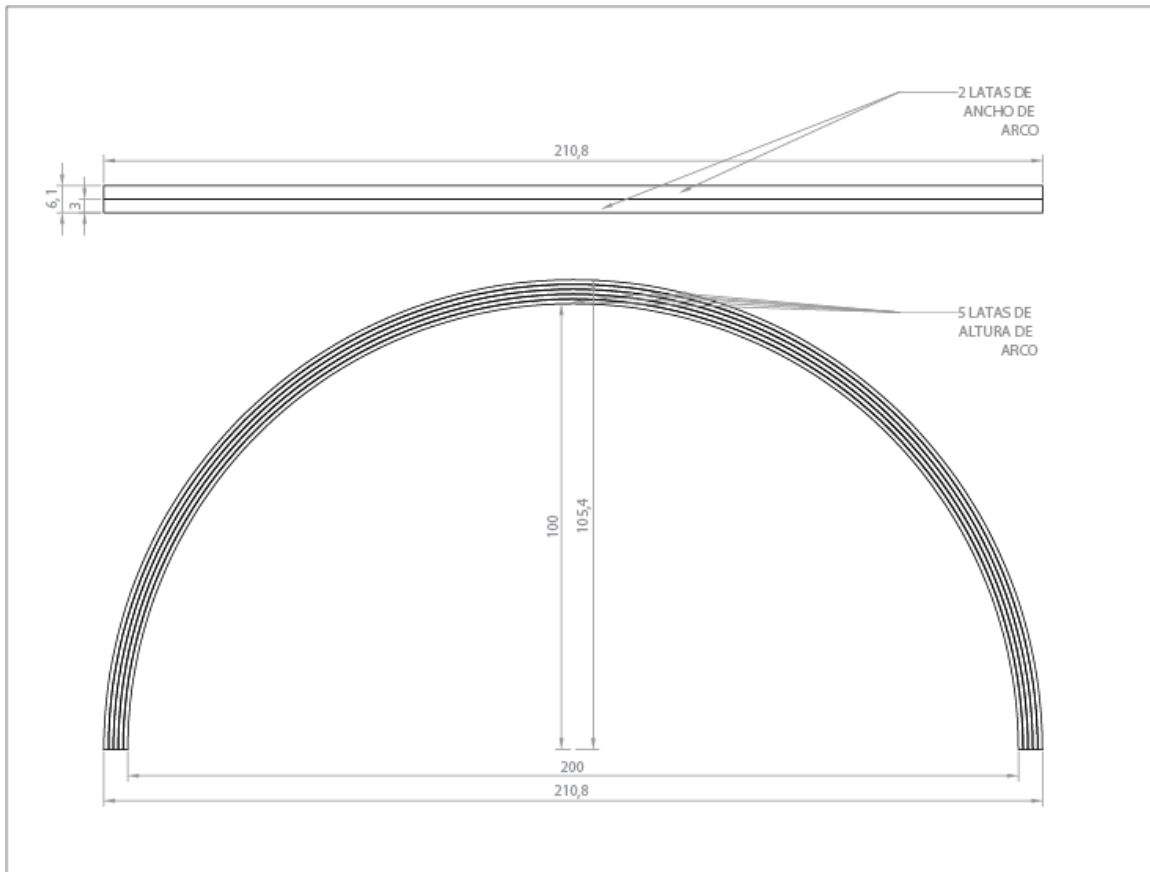


Figura 5. Geometría de arco mayor

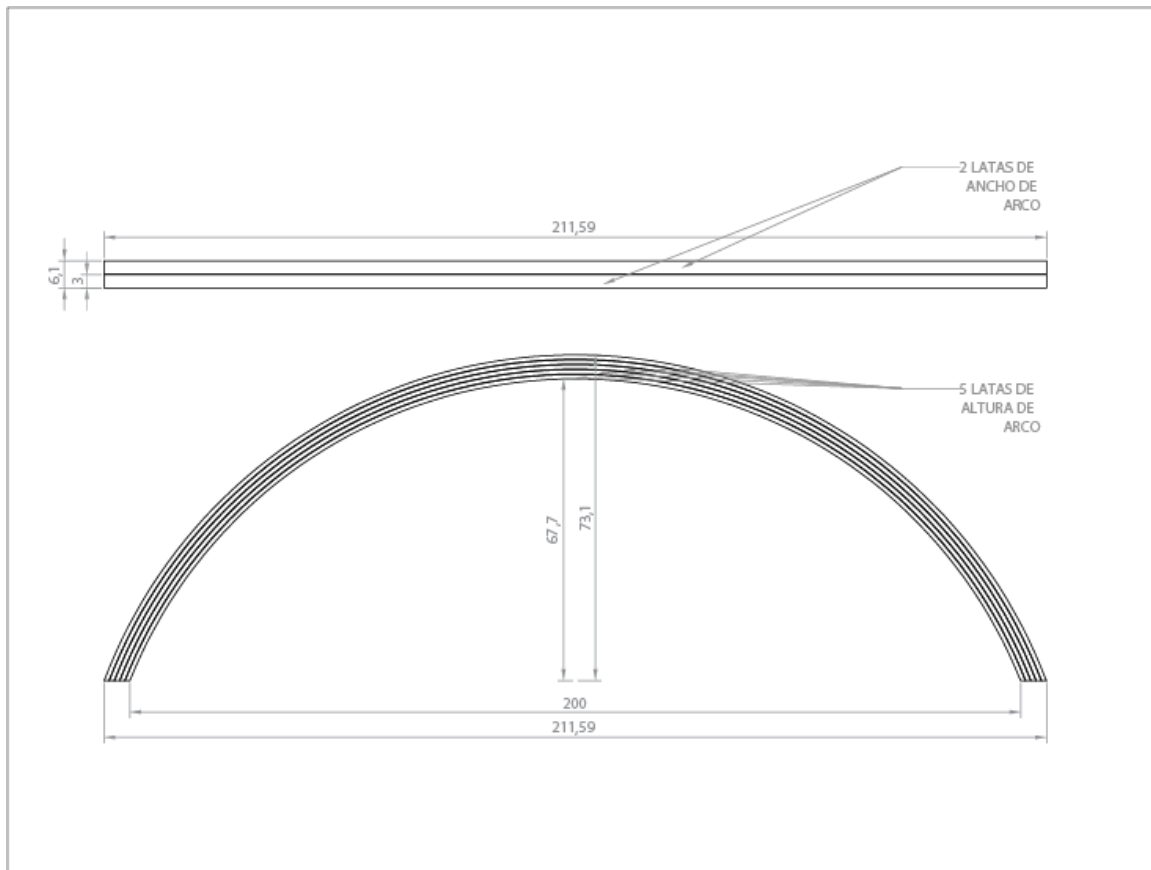


Figura 6. Geometría de arco menor



Figura 7. Izquierda: proceso de curvado de latas a través de las guías; Derecha: arco de viga-lata terminado y trabado

A continuación, se montaron los cuatro arcos sobre el marco metálico de base. El procedimiento inició encajando uno de los extremos de un arco en una de las platinas del marco, posteriormente, haciendo uso de la reata y la eslinga, se tensó la reata, se retiraron las trabas y se procedió a cerrar el arco de tal manera que lograra encajar en la platina del otro extremo. Cuando los arcos estuvieron montados en el marco, se zuncharon en los apoyos. Se repitió el procedimiento para cada uno de los cuatro arcos. Al final, los arcos se sostenían por sí solos sobre el marco (figura 8).

Después de instalados los cuatro arcos, se identificaron los puntos medios de cada uno y se atornilló una lata entre los dos arcos menores, con una curvatura cóncava y una altura en su centro de 0.80 m, mientras que una segunda lata se atornilló entre los dos arcos mayores, en sentido transversal y pasando de bajo de la primera lata, con una curvatura convexa, para finalmente conformar las guías para la elaboración del diafragma de la estructura. La disposición de las latas del diagrama se dio aumentando progresivamente la distancia partiendo de las latas guías; las latas cinco latas más centrales en ambos sentidos, están distanciadas cada 0.05 m, después de ellas, la distancia aumenta 0.01 m cada nueva lata que se va atornillando para completar un total de 21 latas en cada sentido. El orden de montaje de las latas debe ser: colocar una lata en un sentido y a continuación, la siguiente se coloca en el sentido transversal (figura 9).



Figura 8. Izquierda: arcos de viga-lata antes de empotrar; Derecha: arcos de viga-lata empotrados en el marco metálico



Figura 9. Izquierda: montaje de latas guía centrales; Derecha: elaboración del diafragma

Cuando el diafragma estuvo conformado, se procedieron a cortar los excesos en los cuatro costados de la estructura. El resultado final fue una estructura de paraboloides hiperbólico de doble curvatura sobre la cual se llevarían a cabo posteriores mediciones para determinar la deformación ante cargas puntuales vivas y cargas muertas uniformemente distribuidas (figura 10).



Figura 10. Estructura final de paraboloides hiperbólico

La fase de envoltivo se inició identificando la tierra que se usaría para recubrir la estructura en las excavaciones realizadas para la construcción del Bloque A de Nuevos Espacios para las Artes de la Universidad Nacional de Colombia. Allí se identificó una tierra con altos contenidos de arcilla según pruebas de campo realizadas, y se trasladaron dos cucharadas de bobcat al patio del edificio SINDU donde se llevó a cabo todo el proceso constructivo (figura 11).



Figura 11. Izquierda: excavación del Bloque A de Nuevos Espacios para las Artes; Derecha: tierra seleccionada para envoltivo

Durante los talleres de tierra, se estableció la relación tres a dos para la estabilización de la tierra, por cada tres unidades de volumen de tierra se usaron dos unidades de arena de peña reciclada de las exposiciones del 21 SIACOT. La tierra estabilizada se dispuso en una piscina inundada durante una semana, previa a la colocación de la tierra sobre la estructura (figura 12).



Figura 12. Izquierda: tierra estabilizada una semana previa a su aplicación; derecha: tierra estabilizada para pisar el día de la aplicación

Para el taller de aplicación de la envolvente, se adicionó heno obtenido de los invernaderos de la Universidad Nacional de Colombia para conferir la consistencia final requerida para recubrir la estructura. Se definió la conformación de tiras de tierra y fibras para trenzarlas con la estructura con el objetivo de generar unidad estructura-envolvente una vez estuviese finalizada la aplicación. Teniendo en cuenta los comportamientos previos observados en la estructura, se decidió aplicar la tierra de los bordes hacia el centro para generar contrapeso (figura 13).



Figura 13. Izquierda: pisado de la tierra con aplicación de heno; Derecha: trenzado de tierra en la estructura de guadua

5 RESULTADOS

a) Aplicación de cargas puntuales a la estructura libre

Una vez se finalizó la estructura, se definieron 21 puntos aleatorios en las intersecciones de las latas en el diafragma y se tomaron las coordenadas de cada una de ellas para identificar cuánto bajaría la estructura al aplicar cargas de distintas características y a continuación se ubicaron los puntos en el modelo digital en Rhino para su posterior estudio en el software de análisis estructural SAP (figura 14).

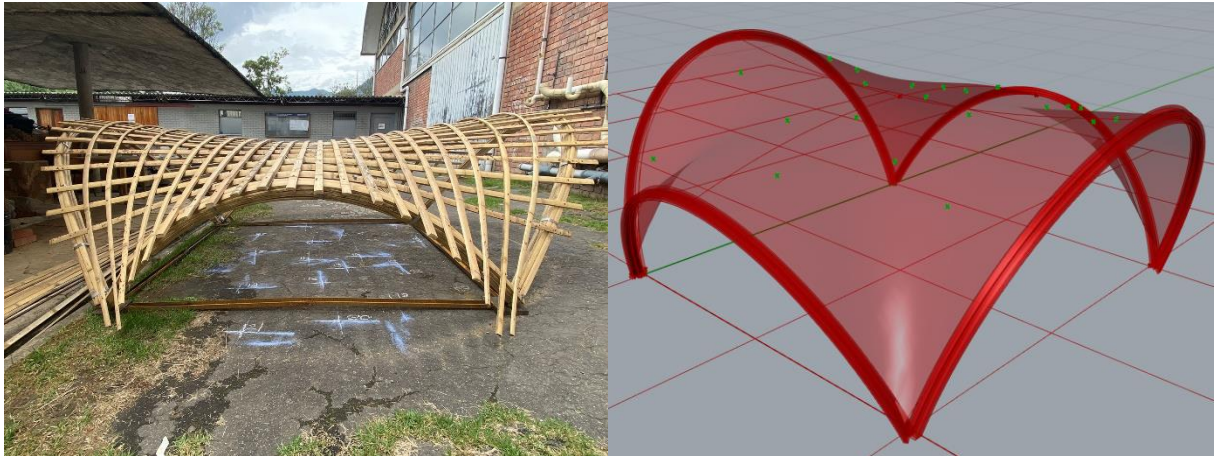


Figura 14. Izquierda: definición de puntos aleatorios en intersecciones de latas del diafragma; derecha: ubicación de puntos en el modelo digital en Rhino

Teniendo la estructura libre, se aplicaron cargas vivas de una a cinco personas, donde la estructura se mantuvo estable con una cantidad aproximada de 300 kg. Posteriormente, se aplicó una carga puntual de 70 kg en cada uno de los puntos definidos y se tomó la diferencia entre la altura inicial y la altura con carga. Se identificó una diferencia máxima promedio de 0.10 m en las intersecciones más centrales a la estructura, mientras que se observó que los puntos más cercanos a los arcos de viga-lata la altura de bajada era menor (tabla 1).

Tabla 1. Carga versus deformación al aplicar carga puntual de 70 kg

Punto	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Coordenada Z (m)	Desplazamiento por carga puntual (m)	Diferencia (m)
1	0,130	0,035	0,545	0,475	0,070
2	1,185	0,025	0,675	0,613	0,062
3	1,975	0,240	0,685	0,634	0,051
4	1,545	0,390	0,725	0,651	0,074
5	0,720	0,465	0,735	0,644	0,091
6	0,042	0,680	0,825	0,748	0,077
7	1,000	0,680	0,755	0,664	0,091
8	2,245	0,850	0,899	0,854	0,045
9	1,470	1,000	0,785	0,704	0,081
10	0,612	1,123	0,785	0,690	0,095
11	1,010	1,200	0,765	0,672	0,093
12	0,350	1,310	0,795	0,700	0,095
13	0,732	1,390	0,755	0,671	0,084
14	1,765	1,430	0,855	0,733	0,122
15	-0,165	1,550	0,765	0,712	0,053
16	0,910	1,670	0,715	0,663	0,052
17	1,930	1,630	0,735	0,688	0,047
18	1,430	1,750	0,695	0,654	0,041
19	0,520	1,927	0,645	0,595	0,050
20	0,770	2,180	0,645	0,613	0,032
21	1,330	2,290	0,595	0,595	0,000

b) Aplicación de carga muerta en tierra uniformemente distribuida

A la estructura se le aplicó la envolvente en tierra y fibras vegetales como carga muerta, partiendo de los arcos de viga-lata hacia el centro de la estructura con el objetivo de generar un contrapeso, teniendo en cuenta las observaciones hechas a la estructura durante la aplicación de las cargas puntuales, donde los puntos centrales tenían una mayor bajada que los puntos cercanos a los bordes (figura 15).



Figura 15. Estructura con envolvente de tierra aplicada

Al aplicar la envolvente en tierra, se observó que la curvatura cóncava de las latas que unían los arcos menores tendió a desaparecer, observándose latas rectas en su centro. Teniendo en cuenta que la estructura está en un monitoreo permanente, se estiman los valores uniformes de bajada señalados en la tabla 2.

Tabla 2. Carga vs. Deformación estimada al aplicar carga muerta uniforme

Punto	Coordenada (m)			Desplazamiento por carga puntual (m)	Diferencia (m)
	X	Y	Z (m)		
1	0,130	0,035	0,545	0,635	0,090
2	1,185	0,025	0,675	0,765	0,090
3	1,975	0,240	0,685	0,770	0,085
4	1,545	0,390	0,725	0,820	0,095
5	0,720	0,465	0,735	0,835	0,100
6	0,042	0,680	0,825	0,920	0,095
7	1,000	0,680	0,755	0,855	0,100
8	2,245	0,850	0,899	0,979	0,080
9	1,470	1,000	0,785	0,885	0,100
10	0,612	1,123	0,785	0,885	0,100
11	1,010	1,200	0,765	0,865	0,100
12	0,350	1,310	0,795	0,895	0,100
13	0,732	1,390	0,755	0,855	0,100
14	1,765	1,430	0,855	0,955	0,100
15	-0,165	1,550	0,765	0,850	0,085
16	0,910	1,670	0,715	0,800	0,085
17	1,930	1,630	0,735	0,815	0,080
18	1,430	1,750	0,695	0,775	0,080
19	0,520	1,927	0,645	0,725	0,080
20	0,770	2,180	0,645	0,715	0,070
21	1,330	2,290	0,595	0,645	0,050

c) Análisis estructural en SAP

Para el análisis estructural en SAP, se exportó el modelo realizado en Rhinoceros a AutoCAD, donde se modelaron las líneas para cada una de las latas que conformaron el diafragma de la cáscara. Una vez definida la geometría en AutoCAD, se ubicaron los puntos de referencia de la tabla 1. Luego se importó el modelo obtenido a SAP donde se determinó que la deformación asociada al peso propio de la estructura es de 0.6 cm.

6 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Según la altura de bajada del diafragma al aplicarle cargas de distintas características, se identificó la necesidad de un diafragma con mayor rigidez que permita una mayor oposición a las cargas que se le apliquen, es decir, se debe aplicar por lo menos una capa adicional al diafragma para un comportamiento más adecuado ante la aplicación de peso. Mientras tanto, con base en los ensayos realizados durante la investigación, la resistencia de las latas en la conformación de las vigas-lata puede permitir la elaboración de elementos ligeros con una alta capacidad portante.

Dado el trabajo permanente a tracción del sistema, se determina que para maximizar la capacidad portante de las estructuras, es importante generar las máximas curvaturas posibles en el diseño de los elementos. A mayor curvatura, mayor oposición a las cargas aplicadas. Sin embargo, se presenta una variable que puede ser objeto de futuras investigaciones, como las uniones del diafragma a las vigas-lata que podrían ser puntos de falla del sistema.

La aplicación de tierra a la estructura de guadua y la resistencia del diafragma, revela la posibilidad de aplicar altas cargas a este tipo de estructuras. Teniendo en cuenta la necesidad de construir diafragmas más rígidos antes de la aplicación de cargas, se abre la posibilidad al uso de este tipo de estructuras no solo como envolventes sino también como placas de entrepiso de nuevas cualidades formales.

La metodología llevada a cabo para la elaboración del prototipo aborda diversos puntos para la continuación de investigaciones que contribuyan a una construcción más fluida y estandarizada. En este sentido, desde la fase inicial, se traza el camino para investigación en la elaboración de guías para la construcción de vigas-lata, que pueda facilitar el prefabricado de dichos elementos. Por otra parte, dada la escala del prototipo, se usaron apoyos empotrados, no obstante, el sistema se caracteriza por ser totalmente flexible, por lo cual, al enfrentarse con construcción de mayores escalas, se pueden desarrollar investigaciones en torno a apoyos articulados en múltiples direcciones que permitan aprovechar totalmente las cualidades del sistema.

Los análisis numéricos llevados durante la investigación proporcionan las primeras herramientas matemáticas para pre dimensionar estructuras de vigas-lata y que pueden maximizar su eficiencia con el uso de software de modelado de estructuras paramétricas.

La flexibilidad del sistema constructivo se refleja en la flexibilidad del proceso constructivo donde constantemente se deben tomar decisiones para proporcionar soluciones in situ. Esta cualidad permite la exploración continua de nuevas herramientas, nuevos materiales, nuevas actividades y formas, entre otros, que faciliten la construcción y que amplíen las capacidades estructurales.

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.

Barrionuevo, R. (2011). Investigación tecnológica aplicada: domocaña. *Informes de La Construcción*, 63(523), 51–58. <https://doi.org/10.3989/ic.10.025>

Carazas, W.; Rivero, A. (2002). Bahareque. Guía de construcción parasísmica. Ediciones CRATerre.

https://craterre.hypotheses.org/files/2017/05/guia_de_construccion_parasismica.pdf

Cuitiño, G.; Maldonado, G.; Esteves, A. (2015). Analysis of the mechanical behavior of prefabricated wattle and daub walls. *International Journal of Architecture, Engineering and Construction*, 3(4), 235–246. <https://doi.org/10.7492/ijaec.2014.019>

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

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

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.

Mahecha Suárez, M.; Ramirez, A.; Takeuchi, C. (2023). Correlation equation of the equivalent inertia of arches made with strapped bamboo slats. 1–9.

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 edificaciones monumentales del virreinato del Perú. *Informes de La Construcción*, 37(377), 59-66. <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1789>

Ramírez Ospina, A.; Takeuchi, C. P.; Mahecha Suárez, M. (2023). Sistema de cascarones de bareque con elementos conformados por latas de guadua no encoladas. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*, 20. *Memorias... Bogotá/Tibasosa, Colombia: PROTERRA/Universidad Nacional de Colombia/Escuela Taller de Boyacá*. p. 237-247

Takeuchi, C. P. (2014). Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural. *Universidad Nacional de Colombia*. <https://doi.org/10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2014.11.051>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los estudiantes pertenecientes a al Semillero de Estructuras en Madera y Bambú (SEMBU) y a los estudiantes del curso de Arquitectura en Tierra, por su colaboración determinante durante la fase constructiva de la estructura en guadua y la fase de envolvente en tierra, respectivamente. Así mismo agradece al arquitecto, Nicolás Cortés por su disposición permanente en la estructuración de los talleres en tierra y a la arquitecta Jenny Astrid Vargas por el aporte de sus valiosos conocimientos en el manejo de la tierra. Finalmente, a las aspirantes a ingenieras civiles Andrea Hernández y Daniela Medina por sus aportes en el análisis estructural del modelo.

AUTORES

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

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 periodos y Directora del Área Curricular de Ingeniería Civil y Agrícola de la Universidad Nacional.