



Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia

ISSN: 0254-0770

revistatecnica@fing.luz.edu.ve

Universidad del Zulia

República Bolivariana de Venezuela

Singrid Michelle Jaramillo Flórez; Verónica Moserrath Torres Herrera;
Germán Vinicio Luna Hermosa; Melisa Natalia Herrera Quishpe
Estudio del Comportamiento Sismo-Resistente de una Estructura Espacial
Hexagonal de Caña Guadua Reforzada con Ladrillos Artesanales

Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería,
Universidad del Zulia, vol. 45, núm. 2, 2022, pp. 122-132

Universidad del Zulia
Maracaibo, República Bolivariana de Venezuela

DOI: <https://doi.org/10.22209/rt.v45n2a05>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=605780379005>

- ▶ [Cómo citar el artículo](#)
- ▶ [Número completo](#)
- ▶ [Más información del artículo](#)
- ▶ [Página de la revista en redalyc.org](#)

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante

Infraestructura abierta no comercial propiedad de la academia

Estudio del Comportamiento Sismo-Resistente de una Estructura Espacial Hexagonal de Caña Guadua Reforzada con Ladrillos Artesanales

Singrid Michelle Jaramillo Flórez¹, Verónica Moserrath Torres Herrera¹
, Germán Vinicio Luna Hermosa¹, Melisa Natalia Herrera Quishpe^{2*}

¹Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

²Centro de Investigación de la Vivienda, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

*Autor de correspondencia: melisa.herrera@outlook.es

<https://doi.org/10.22209/rt.v45n2a05>

Recepción: 20 de abril 2021 | Aceptación: 16 de marzo de 2022 | Publicación: 01 de mayo de 2022

Resumen

La caña guadua es un material noble, poco explotado, sostenible y económico, que posee grandes capacidades físicas y mecánicas, por lo que es muy común que se utilice como material de construcción, sin embargo, las estructuras de este material poseen una desventaja frente a cargas horizontales, referida a los desplazamientos excesivos. Por tal razón, en esta investigación se revisó el comportamiento de este tipo de estructuras, cuando se juntan con el ladrillo artesanal. Para ello, se construyeron cuatro estructuras hexagonales con caña *Guadua angustifolia*, Kunth 1822, reforzadas con mamposterías de ladrillo artesanal. Para las uniones se utilizó la conexión Simón Vélez, con una pequeña modificación en la forma del gancho. Las estructuras se sometieron a carga lateral cíclica para obtener las curvas de histéresis, las cuales permitieron determinar ductilidad, rigidez secante y variación de amortiguamiento viscoso. Las cuatro estructuras presentaron un aumento de resistencia y desplazamientos controlados, en comparación con ensayos en estructuras sin mampostería de relleno. Por lo tanto, se concluyó que la inclusión de mampostería de ladrillo artesanal entre la estructura de caña *G. angustifolia*, aumenta significativamente la resistencia y rigidez estructural, logrando una disminución significativa en las derivas.

Palabras clave: caña guadua; conexión Simón Vélez; mampostería de ladrillo; sismo-resistente.

Study of Seismic-Resistant Behavior of a Hexagonal Spatial Structure of Guadua Cane Reinforced with Handmade Bricks

Abstract

Guadua cane is a noble material, little exploited, sustainable, and economical, which has great physical and mechanical capacities, so it is very common to be used as a construction material, however, the structures of this material have a disadvantage compared to horizontal loads and are excessive displacements. For this reason, in this investigation the behavior of this type of structures was reviewed when they are joined with artisanal brick. For this, four hexagonal structures were built with *Guadua angustifolia* cane, Kunth 1822, reinforced with handcrafted brick masonry; For the joints, the Simón Vélez connection was used with a small modification in the shape of the hook. The structures were subjected to cyclic lateral loading to obtain the hysteresis curves, which allowed to determine ductility, secant stiffness and variation of viscous damping of the structures. The four structures presented an increase in resistance and controlled displacements in comparison with tests in structures without infill masonry. Therefore, it was concluded that the inclusion of artisanal brick masonry between the *G. angustifolia* cane structure significantly increases the resistance and rigidity of the structure, achieving a significant decrease in drift.

Keywords: brick masonry; guadua cane; seismic resistance; Simon Velez connection.

Estudo do Comportamento Resistente a Terremotos de uma Estrutura Espacial Hexagonal de Cana-de-Guádua Reforçada com Tijolos Artesa

Resumo

A cana-de-guadua é um material nobre, pouco explorado, sustentável e econômico, que possui grandes capacidades físicas e mecânicas, por isso é muito comum ser utilizado como material de construção, porém, as estruturas desse material apresentam desvantagem em relação às cargas horizontais, referindo-se a deslocamentos excessivos. Por esta razão, nesta investigação foi revisto o comportamento deste tipo de estruturas, quando são unidas ao tijolo artesanal. Para isso, foram construídas quatro estruturas hexagonais com cana Guadua angustifolia, Kunth 1822, reforçada com alvenaria de tijolo artesanal. Para as juntas foi utilizada a conexão Simón Vélez, com uma pequena modificação na forma do gancho. As estruturas foram submetidas a carregamentos laterais cíclicos para obtenção de curvas de histerese, que permitiram determinar a ductilidade, rigidez secante e variação do amortecimento viscoso. As quatro estruturas apresentaram aumento de resistência e deslocamentos controlados, em relação aos ensaios em estruturas sem alvenaria de enchimento. Portanto, concluiu-se que a inclusão de alvenaria artesanal de tijolos entre a estrutura da cana de G. angustifolia aumenta significativamente a resistência e rigidez estrutural, conseguindo uma diminuição significativa da deriva.

Palavras-chave: cana de bambu; conexão Simon Velez; alvenaria de tijolo; resistente a terremotos.

Introducción

En el Ecuador, existen materiales nativos que son utilizados precariamente en el campo de la construcción; uno de ellos es la caña guadua. Su uso inadecuado en zonas marginales, ha originado que se relacione con la pobreza, inclusive en el sector profesional se desconocen sus características y adecuado uso (Rea Lozano, 2012). En la zona del litoral del país, se evidencia el uso tradicional que los campesinos han dado a este material, transmitiendo de generación en generación sus conocimientos ancestrales sobre el procedimiento de cosecha y construcción con este recurso renovable, demostrando, en el transcurso del tiempo, su favorable adaptación al clima y al entorno.

La caña guadua es un material noble, poco explotado, sostenible y renovable que se automultiplica vegetativamente (no requiere de semilla para reproducirse) y que tiene una alta velocidad de crecimiento (Moreno y Cendales, 2018); es considerado amigable con el ambiente debido a su capacidad de absorción de agua en el tallo durante el invierno, que luego regresa a los suelos durante el verano, además; su explotación permite proteger bosques primarios con otras especies maderables que demoran en crecer (Carranza y Taco, 2011). Actualmente, busca introducirse esta caña en el ámbito de la construcción ecuatoriana, debido a las altas capacidades físicas y mecánicas que presenta, según Mendoza *et al.* (2018); gracias a sus fibras, la caña guadua posee cualidades superiores al hierro, por ser igual de resistente, pero más flexible y económica, por lo que es considerada como el acero vegetal. De acuerdo con Bonilla y Merino (2017), contiene vasos que se encargan de transportar líquido a toda la planta durante toda su vida, y fibras de celulosa que actúan como refuerzo, tal como las varillas de acero lo hacen en el hormigón, además, en la parte exterior del tallo, contiene gran cantidad de sílice, lo que la convierte en un elemento protector para la planta, y en cuanto a durabilidad, se ha determinado que este tipo de caña frente a otros bambúes, tiene una gran resistencia contra insectos, moho y putrefacción. Moreno y Cendales (2018) realizaron ensayos para determinar las resistencias características de la caña guadua a la flexión, compresión, tracción y corte, y concluyeron que es un material con grandes propiedades físicas y mecánicas, óptimas para la construcción de puentes peatonales, gracias a su buena capacidad de resistencia a la flexión y a la tracción, así como para la construcción de edificaciones, por su capacidad de resistencia a la compresión y al corte. Por su parte, La Tegola *et al.* (2016) estudiaron sus propiedades mecánicas en un sector del Ecuador, demostrándose que para la compresión paralela a la fibra, la caña guadua presenta una resistencia última cercana a los 40 Mpa, lo que supera a la resistencia del hormigón, en cuanto a la resistencia a la tracción paralela a la fibra, obtuvieron valores de resistencia de 117 MPa, que si bien se encuentra por debajo del acero, es un resultado positivo, considerando su bajo peso propio y costo. También, según Xiao (2016), las propiedades físicas y mecánicas del bambú, son generalmente mejores que las de otras especies de maderas convencionales.

La versatilidad de la caña guadua en la construcción permite su combinación con otros materiales como el acero, hormigón y mampuestos, lográndose obtener resultados prometedores en su funcionamiento y mejorando sus propiedades estructurales (Mendoza Castro y Rosales Salcedo, 2014). En Colombia y Perú se han desarrollado diversas investigaciones para el uso de la caña guadua en el ámbito constructivo, debido a su mayor aplicación en modelos arquitectónicos, originando la creación de normas técnicas que han servido de referencia para

implementar el capítulo de la norma ecuatoriana de la construcción (NEC), que menciona estructuras de caña guadua. En este sentido, Herrera y Viteri (2017) estudiaron el comportamiento sismo-resistente de una estructura de la caña guadua en función de una modificación de la conexión Simón Vélez, y determinaron que frente a cargas laterales la estructura presenta deformaciones excesivas. Como una solución alternativa, se plantea incorporar muros en ladrillo de arcilla, los cuales aumentan la resistencia y rigidez de manera uniforme en la estructura, siempre y cuando sean adosados a las columnas del pórtico y se ubiquen simétricamente, reflejando una disminución apreciable de las derivas elásticas, sin inducir efectos desfavorables (Roche, 1993).

El propósito de la presente investigación fue analizar la influencia de la mampostería de ladrillo, incorporada en la estructura hexagonal de caña *Guadua angustifolia*, Kunth 1822, planteada por Herrera y Viteri (2017), para evidenciar la disminución significativa de las derivas obtenidas y aportar nuevos conocimientos técnicos sobre el uso de estos materiales en el sector de la construcción. La evaluación del comportamiento sismo-resistente de la estructura espacial fue mediante un ensayo, que consistió en aplicar una carga lateral con inversión, registrando en cada ciclo la carga y deformación obtenida, hasta alcanzar los valores máximos en donde se produjo la falla de la estructura. Los datos registrados fueron procesados y analizados, con el fin de establecer una comparación cualitativa y cuantitativa con la investigación de Herrera y Viteri (2017). Para justificar la validez de este estudio, se obtuvo la curva de histéresis de cada modelo, con el fin de determinar su envolvente, energía disipada, rigidez secante y su degradación, amortiguamiento viscoso equivalente, ductilidad, resistencia a corte, factor de reducción de comportamiento sísmico y derivas.

Materiales y Métodos

Construcción de modelos físicos

Para la ejecución del presente estudio, se construyeron cuatro modelos físicos con base en el diseño propuesto por Herrera y Viteri (2017), que consiste en una estructura espacial hexagonal de caña *G. angustifolia*, utilizando una modificación de la conexión Simón Vélez, con la diferencia de la inclusión de mampostería de ladrillo. Según Salas Delgado (2006), la conexión Simón Vélez une la viga y columna por medio de un tornillo y la colocación de mortero de relleno. La modificación de la conexión planteada, consiste en reemplazar el tornillo por un gancho "J" (Figura 1), el cual se introduce por la columna y se enlaza a un pasador incrustado en la viga, para posteriormente verter mortero en cada conexión.

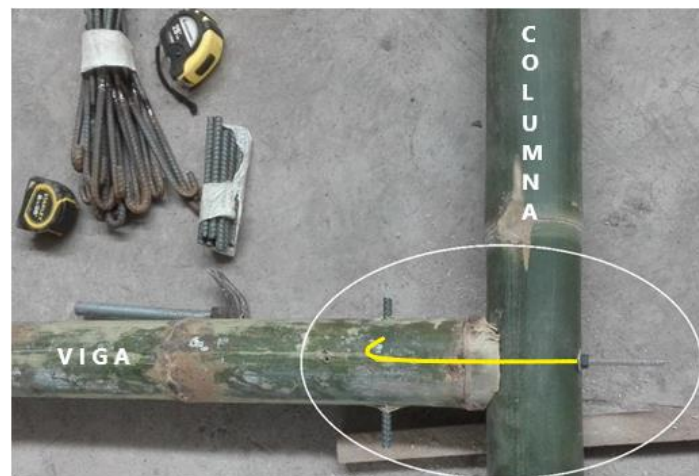


Figura 1. Detalle de la modificación a la conexión Simón Vélez utilizado en las conexiones viga - columna de la estructura espacial hexagonal.

La mampostería implementada en dichas estructuras fue de ladrillo artesanal de dimensiones 24 x 12 x 8 cm, utilizando mortero de relación 1:3 para su adherencia. En las caras A, C y E de la estructura hexagonal se construyeron paredes de 1,8 m de altura, mientras que para las caras B, D y F se construyó mamposterías de 1 metro de altura (Figura 2).

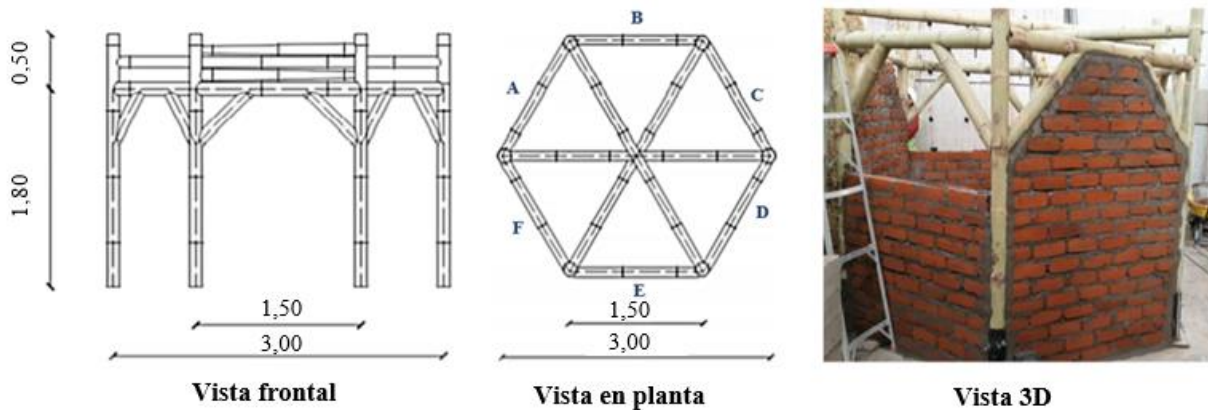


Figura 2. Vistas del modelo físico - estructura espacial hexagonal (Ej. muestra 2). A: Cara 1 de la estructura con altura de mampostería de 1,8m; B: Cara 2 de la estructura con altura de mampostería de 1m. C: Cara 3 de la estructura con altura de mampostería de 1,8m; D: Cara 4 de la estructura con altura de mampostería de 1m. E: Cara 5 de la estructura con altura de mampostería de 1,8m; F: Cara 6 de la estructura con altura de mampostería de 1m.

Propiedades de los materiales

Los materiales utilizados: caña *G. angustifolia*, ladrillo artesanal, mortero para uniones y mortero para mampostería, fueron sometidos a diversos ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, garantizando su calidad y buen desempeño en la construcción. Los resultados se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de los materiales utilizados en las estructuras hexagonales.

Propiedades	Unidad	Caña <i>G.</i> <i>angustifolia</i>	Mortero conexión	Mortero mampostería	Ladrillo
Contenido de humedad	%	14,60	-	-	-
Densidad básica	g/cm ³	0,62	-	-	-
Densidad verde	g/cm ³	0,71	-	-	-
Absorción de agua	%	-	-	-	25,69
Peso específico	g/cm ³	0,66	2,25	2,10	1,32
Compresión	Mpa	38,85	33,42	18,63	2,38
Tensión	Mpa	76,52	-	-	-
Flexión	Mpa	71,79	-	-	-
Corte	Mpa	2,08	-	-	-

Instrumentación y ensayo

Las cuatro estructuras fueron ensayadas a carga lateral cíclica cuasi estática, para ello, se aplicó gradualmente carga por medio de un gato hidráulico, y con la ayuda de dispositivos LVDT (transductores de desplazamiento), se obtuvieron los datos de desplazamiento, con el fin de analizar y procesar la información en similares condiciones que en el proyecto de Herrera y Viteri (2017). La distribución de los LVDT y el punto de aplicación de carga, se muestran en la Figura 3.

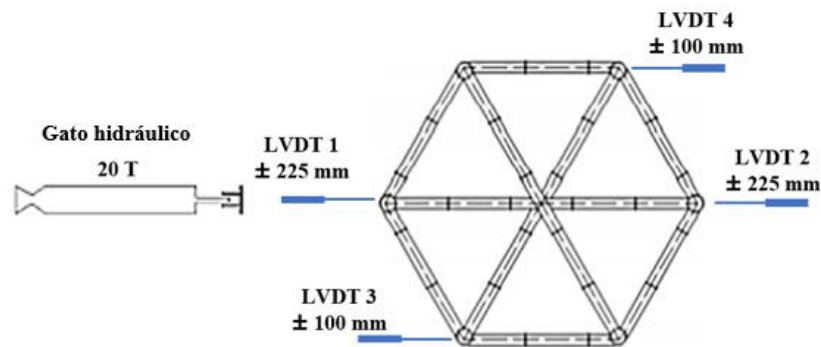


Figura 3. Esquema del ensayo a carga lateral en estructuras espaciales hexagonales. LVDT: transductor diferencial de variación lineal.

Protocolo de carga

Los ensayos se realizaron en el Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional, con ayuda de personal calificado, utilizando como referencia la norma ASTM E2126-19 (2019), que es aplicable en estructuras de madera y sugiere tres protocolos a seguir para la aplicación de la carga, de los cuales, se seleccionó el método de prueba C, que involucra ciclos de desplazamientos agrupados en series o patrones que se van incrementando. La primera serie o patrón inició con seis ciclos de la misma amplitud, que se obtiene como el 5 % de la deformación esperada. A partir de la segunda serie en adelante, la amplitud del primer ciclo de cada una, corresponde a un porcentaje establecido de la deformación esperada, tal como se indica en la Tabla 2, y en los ciclos posteriores, después del primero de cada serie, la amplitud es el 75 % de la amplitud del ciclo inicial (ASTM E2126-19, 2019).

Tabla 2. Método de prueba C utilizado en el ensayo a carga lateral de estructuras espaciales hexagonales – amplitud del ciclo primario (ASTM E2126-19, 2019).

Serie	Paso	Número mínimo de ciclos	Amplitud del ciclo primario (% Δ)
1	1	6	5
2	2	7	7,5
	3	7	10
3	4	4	20
	5	4	30
	6	3	40
4	7	3	70
	8	3	100
	9	3	$100+100\alpha^A$
	10	3	Incrementos adicionales de 100α (hasta que el espécimen falle)

$$\alpha^A \leq 0,5$$

Resultados y Discusión

Curva de histéresis

Los ensayos a carga lateral cíclica permitieron generar una base de datos con valores de fuerzas y deformaciones, los cuales se usaron para desarrollar la curva de histéresis, con el fin de representar gráficamente el comportamiento de la estructura durante la aplicación de carga, tanto en empuje como en halado (Figura 4).

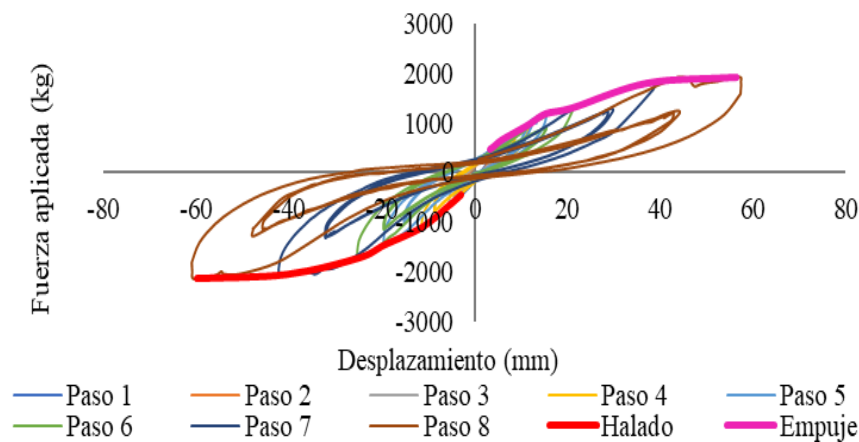


Figura 4. Curva de histéresis y envolvente obtenido del ensayo a carga lateral de la estructura espacial hexagonal–Ej. muestra 2.

En el ejemplo de la Figura 4, se observa que la curva histérica es simétrica, por lo tanto, se puede deducir que la estructura tiene un comportamiento relativamente estable. Los ciclos histéricos son estrechos, mostrando un indicio claro de una baja capacidad de disipación de energía de la estructura, atribuible a la presencia de las paredes de mampostería. De acuerdo con Pachana (2018), lazos de histéresis amplios y consistentes en repeticiones de carga cíclica, disipan más energía que lazos estrechos. Esta estrechez de los lazos histéricos es causada por la degradación de la rigidez y la resistencia del sistema. De igual manera menciona que, en estructuras con mampostería de relleno, es común que se genere un desacople entre el marco y la mampostería de relleno, lo que hace que la rigidez del sistema se vea degradada rápidamente. Adicionalmente, se analizaron ciertos indicadores con el propósito de comparar los resultados obtenidos en la presente investigación y la presentada por Herrera y Viteri (2017). Para facilitar dicha comparación, a la investigación de Herrera y Viteri (2017) se denominó “investigación referente” y a la presente “investigación actual”.

Comparación de resultados entre las estructuras hexagonales con mampostería y las estructuras hexagonales sin mampostería

Los indicadores que se compararon fueron, en primera instancia, las curvas envolventes y las curvas elastoplásticas (Figura 5a), donde se evidencia que en la investigación actual existe un aumento en la carga de fluencia, juntamente con una disminución en el desplazamiento, así mismo; su curva envolvente presenta una mayor amplitud, alcanzando un pico de aproximadamente 1948 kg, en comparación al de la investigación referente de 1245 kg. Este incremento se debe a la rigidez que aporta la mampostería implementada, como se ha visto en las investigaciones de pórticos vacíos y pórticos rellenos con mampostería de Baran y Sevil (2010) y Albuja y Pantoja (2017). Sin embargo, la restricción de movimiento propiciada por la mampostería incorporada y los tensores añadidos en la cubierta, dieron como resultado una mayor variación de rigidez en la investigación actual (Figura 5b), obteniéndose una relación comparativa de 6:1 entre sus valores máximos, respecto a la investigación referente.

Por otro lado, se analizó el indicador de energía disipada (Figura 5c) y se apreció su aumento en función del desarrollo de los pasos, puesto que, el incremento gradual de carga y deformación que se da conforme avanzan, genera un ciclo histerético que encierra una mayor área. Al comparar las dos investigaciones, se tiene que la referente logró disipar un valor de 5,2356 kJ, mientras que, en la actual se disiparon 3,3232 kJ. En la Figura 5d se expone la gráfica que describe la variación media de los porcentajes de amortiguamiento viscoso equivalente, mediante la cual se deduce que existió mayor energía disipada que absorbida en las estructuras de la investigación actual en una proporción 3:2, en comparación a la investigación referente, debido a que el contacto con la mampostería genera mayor fricción entre los materiales.

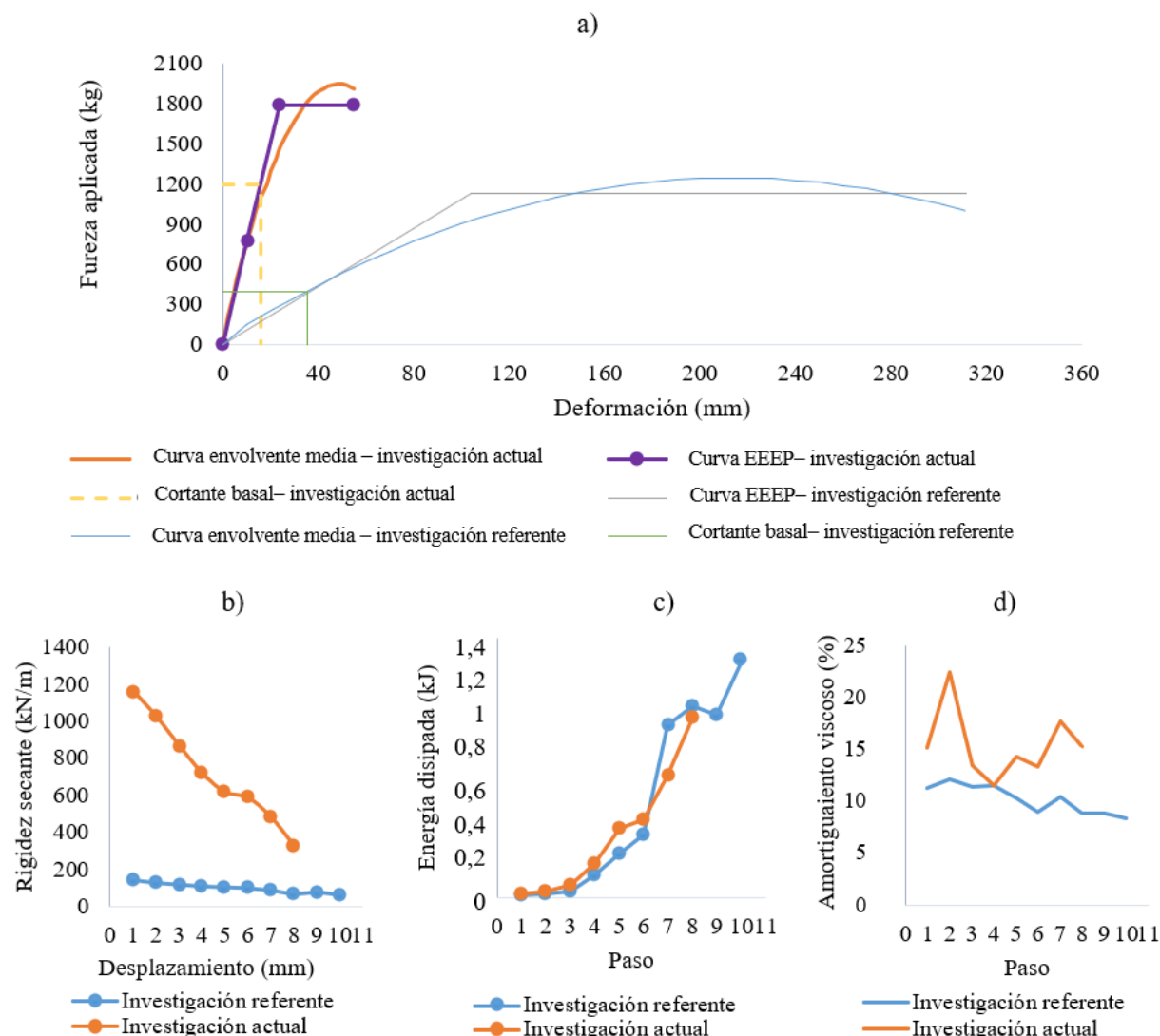


Figura 5. Comparación de curvas obtenidas en investigaciones de estructuras espaciales hexagonales con y sin mampostería de relleno. a) Curvas envolventes medias y curvas elastoplásticas de energía, b) Rigidez secante, c) Energía disipada por paso, d) Variación de amortiguamiento viscoso equivalente. EEEP: envolvente elastoplástica de energía. Investigación referente: Herrera y Viteri (2017).

Derivas

Para el cálculo de la deriva inelástica, se utilizó un factor de reducción de resistencia sísmica (R) igual a 2 (NEC-SE-GUADUA, 2016); evaluando los resultados con lo establecido en el capítulo de peligro sísmico de la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-SE-DS, 2015), donde se plantea que el límite permisible para la deriva máxima en estructuras de madera es de 0,02.

En la Tabla 3 se muestra las derivas para la investigación actual como para la investigación referente considerando dos casos. En el primero caso se muestra la deriva para el desplazamiento máximo obtenido durante el ensayo, mientras que en el segundo caso se presenta la deriva considerando el desplazamiento cuando la carga alcanza el cortante basal. En ese sentido, se puede visualizar en la investigación actual, que, si bien la deriva obtenida con la carga máxima aplicada, superó las recomendadas por la norma, al aplicar la carga que solicita la norma, equivalente al cortante basal, las derivas se encuentran por debajo del límite permitido, lo cual no se visualiza en la investigación referente. Esto se debe a la mampostería que se implementó, como se ha explicado previamente.

Tabla 3. Análisis de derivas obtenidas en investigaciones de estructuras espaciales hexagonales con y sin mampostería de relleno.

Investigación actual				Investigación referente*			
Descripción	Unidad	Valor	Observación	Descripción	Unidad	Valor	Observación
Δ máx.	mm	54,79	Supera el 2 %	Δ máx.	mm	200	Supera el 2 %
Deriva elástica	%	3,04	de deriva máxima permitida	Deriva elástica	%	11,22	de deriva máxima permitida
Deriva inelástica	%	4,57		Deriva inelástica	%	16,83	
Δ Vbasal= 1195,76 kg	mm	18,56	Cumple con	Δ Vbasal =396,28kg	mm	35,28	Supera el 2 %
Deriva elástica	%	1,03	deriva máxima permitida	Deriva elástica	%	1,96	de la deriva permitida
Deriva inelástica	%	1,55		Deriva inelástica	%	2,94	

Δ máx.: desplazamiento máximo, Δ Vbasal: desplazamiento cuando la carga es igual al cortante basal, *: Herrera y Viteri (2017).

Fallas observadas en la estructura de caña *Guadua angustifolia*

Durante el desarrollo de los ensayos, se originaron daños en los elementos estructurales de caña *G. angustifolia* y en la mampostería de ladrillo artesanal, debido a las cargas aplicadas en dirección de empuje y halado; estas evidencias de afectación surgieron a partir de la serie N° 5, en los elementos de caña, y, en el caso de la mampostería, las fallas se intensificaron durante la última serie de cada ensayo. A este respecto, en la Figura 6a se observa una separación entre los elementos estructurales, exponiendo al mortero que conforma su conexión, el cual impide un mayor deslizamiento del elemento viga, evitando el desprendimiento total de la estructura. En la unión larguero-columna, se ocasionó una falla por aplastamiento (Figura 6b), debido a que esta sección no contaba con mortero, ya que el peso que implicaría rellenar la separación existente entre esta unión y la conexión viga-columna, provocaría la rotura del diafragma interno de la columna de caña. También en la Figura 6c se visualiza la falla por aplastamiento que se dio en el punto de aplicación de carga, a causa de la rotura del nudo interior de la columna de caña durante el vertido de mortero, provocando su descenso desde la conexión hacia la base de la columna. En la Figura 6d, por su parte, se aprecia una falla a corte en la viga de caña, provocada por el gancho “J”, al transmitir la fuerza horizontal de empuje y halado. El pasador imposibilita el desprendimiento total del larguero durante el ensayo.

Fallas observadas en la mampostería de ladrillo artesanal

Las fallas presentadas en la mampostería surgieron debido a los diferentes tipos de esfuerzo producidos por la aplicación de carga lateral. En la Figura 7 se exhibe una separación de la mampostería, que se encuentra en un rango de 5 a 10 mm con respecto a la estructura de caña. Los chicotes colocados garantizaron la unión entre la estructura y la mampostería, evitando que existiera una mayor separación entre ellas.

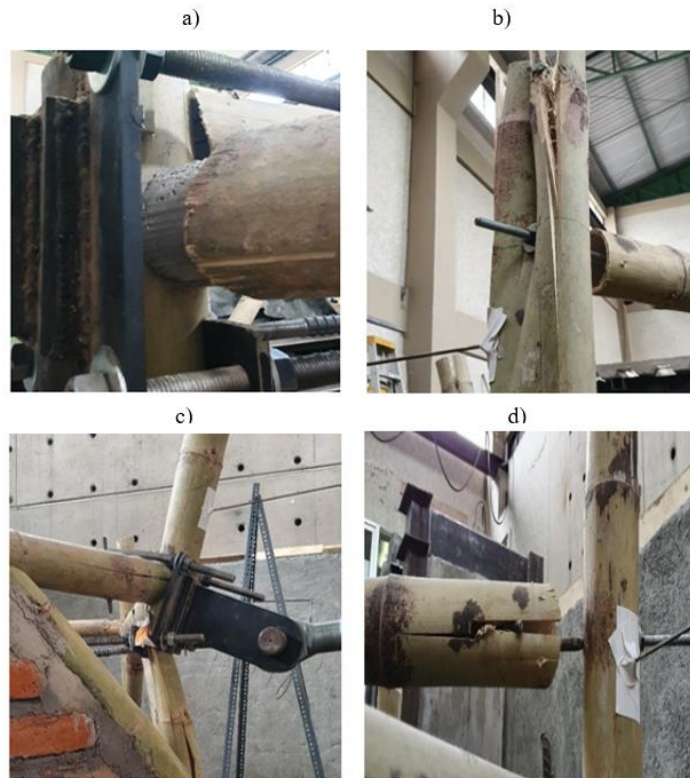


Figura 6. Fallas obtenidas en estructura espacial hexagonal de caña *G. angustifolia* durante el ensayo a carga lateral. a) Deslizamiento de viga, b) Falla por aplastamiento en columna, c) Falla por aplastamiento en columna, d) Falla a corte en viga.



Figura 7. Separación entre la mampostería y la estructura espacial hexagonal de caña *G. angustifolia* obtenida durante el ensayo a carga lateral.

La falla a corte manifestada en la mampostería, se puede distinguir en la Figura 8a, con fisuramientos de entre 1 a 4 mm; estas fisuras se observaron con mayor claridad desde el interior de la estructura durante la aplicación de carga por empuje, siendo la primera en formarse. Sin embargo, al revertir la carga, se presentaron fisuras por flexión de aproximadamente 4 mm de ancho, a una altura de 90 cm desde la base, como se observa en la Figura 8b. La combinación de estos dos tipos de falla se manifestó en los dos paneles completos (A y C), en referencia al eje de aplicación de carga, siendo esta sección más rígida, debido a la distribución de mampostería, que consiste en dos paredes completas (A y C) y una intermedia de 1 m de altura (B). En la Figura 8c se aprecia la falla por tensión diagonal en mampostería, con una fisura de aproximadamente 3 mm de ancho y una longitud que no sobrepasó los 350 mm. Estas fallas se presentaron en el panel completo (E), que se encuentra en el eje paralelo al eje de aplicación de carga, y, se atribuyen a los esfuerzos de tracción inclinados, que se generan por la libertad de movimiento de la mampostería en la parte superior, al encontrarse entre los dos muros de 1 m de altura.

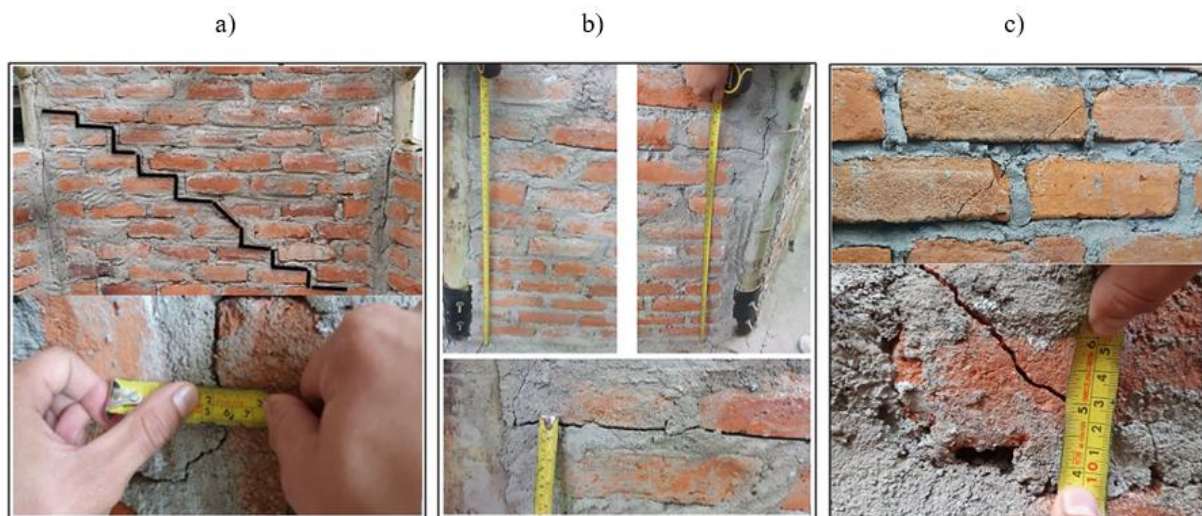


Figura 8. Fallas en mampostería durante el ensayo a carga lateral. a) Falla a corte, b) Falla a flexión, c) Falla por tensión diagonal.

Conclusiones

Se determinó que la inclusión de mampostería de ladrillo entre las columnas de caña *G. angustifolia*, brinda mayor resistencia y rigidez a la estructura para enfrentar cargas laterales, lográndose un mayor control en cuanto a las derivas y permitiendo un mejor comportamiento sismo-resistente. Además, la modificación del gancho en la conexión viga-columna (Simón Vélez) en forma de “J”, permitió que la estructura trabaje como un solo conjunto y no se presenten daños en los elementos.

Al comparar los resultados de las estructuras con y sin relleno de mampostería, lo primero que sobresalió fue el incremento de rigidez en una proporción 6:1, debido a que la mampostería redujo la capacidad de deformación. Por su lado, la relación entre la energía disipada y la energía absorbida, fue mayor cuando se tuvo mampostería de relleno, en una proporción 3:2, teniendo así más amortiguamiento viscoso equivalente. Estos resultados se lograron gracias a la interacción favorable entre la estructura de caña y la mampostería de ladrillo artesanal.

Para la construcción de estructuras de caña *G. angustifolia*, se recomienda seleccionar culmos maduros y diámetros semejantes, para evitar rajaduras y variaciones en las propiedades físicas y mecánicas, respectivamente, además, se logra una estructura simétrica y un mejor comportamiento. El uso de caña en el sector de la construcción surge como una alternativa viable, debido a su bajo costo, relación peso-resistencia y versatilidad, sin olvidar que es un material renovable que tiene una gran aplicación en modelos arquitectónicos.

Referencias Bibliográficas

- Albuja, D., Pantoja, J. (2017). *Estudio del reforzamiento de la mampostería de bloque de hormigón con malla electrosoldada mediante ensayos destructivos* [en línea] disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17516> [consulta: 7 junio 2022].
- ASTM E2126-19. (2019). *Standard test methods for cyclic (reversed) load test for shear resistance of vertical elements of the lateral force resisting systems for buildings*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Baran, M. , Sevil, T. (2010). Analytical and experimental studies on infilled RC frames. *International Journal of Physical Sciences*, 5(13), 1981-1998.
- Bonilla, D. , Merino, J. (2017). *Estudio de las propiedades físicas de la caña guadua y su aplicación como refuerzo en la construcción de estructuras de adobe* [en línea] disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17267> [consulta: 7 junio 2022].
- Carranza Armendariz, F., Taco Álvarez, J. (2011). *Cálculo y diseño estructural para la cubierta del mercado central de la parroquia de Píntag en base a tenso-estructura con el uso de bambu gigante (*Dendrocalamus asper*)* [en línea] disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/3175> [consulta: 7 junio 2022].
- Herrera Vaca, J., Viteri Aguirre, L. (2017). *Estudio del comportamiento sismo-resistente en una estructura espacial de caña guadua sometida a carga lateral con inversión, utilizando una modificación de la conexión Simón Vélez* [en línea] disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19798> [consulta: 7 junio 2022].
- La Tegola, A., Yépez Roca, L., Mera Ortíz, W., Córdoca Alcívar, P. (2016). Determinación de las propiedades mecánicas de la caña Guadua angustifolia del Ecuador cuando está sometida a fuerzas axiales. *Alternativas*, 17(1), 54-61.
- Mendoza Avilés, H. E., Madruñero Espinoza, Ó. M., Paredes Murillo, S. R. (2018). Desarrollo de la cadena productiva en el clúster de bambú de la zona 5 del Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(5), 70-77.
- Mendoza Castro, J. A., Rosales Salcedo, J. N. (2014). *Uso de la caña guadua en la vivienda modular* [en línea] disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5218> [consulta: 7 junio 2022].
- Moreno Molina, J. , Cendales Puente, M. (2018). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth originaria de Armenia Quindío* [en línea] disponible en: <https://hdl.handle.net/10983/23924> [consulta: 7 junio 2022].
- NEC-SE-DS (2015). *Capítulo de peligro sísmico*. Ecuador: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).
- NEC-SE-GUADUA. (2016). *Capítulo de estructuras de guadua (GaK)*. Ecuador: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).
- NTC 5525. (2007). *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- Pachano, F. (2018). *Determinación de parámetros mecánicos para modelos no lineales de mampostería de relleno en pórticos de hormigón armado obtenidos de manera experimental* [en línea] disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19734> [consulta: 7 junio 2022].
- Rea Lozano, V. (2012). *Uso de la caña guadua como material de construcción: evaluación medioambiental frente a sistemas constructivos tradicionales* [en línea] disponible en: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/356> [consulta: 24 febrero 2022].
- Rochel, R. (1993). Influencia de los muros de mampostería en el comportamiento de las estructuras aporticadas: una explicación a los daños por los sismos de octubre de 1992 en Medellín. *Revista Universidad EAFIT*, 29, 090.
- Salas Delgado, E. (2006). *Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia. Simón Vélez: "Símbolo y Búsqueda de lo Primitivo"* [en línea] disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/93442> [consulta: 7 junio 2022].
- Xiago, Y. (2016). Engineered bamboo. *Nonconventional and Vernacular Construction Materials*, 2016, 433-452.