



Incidencia estructural de la esterilla de bambú guadua ante eventos sísmicos en muretes de mampostería republicana

Structural Impact of the Guadua Bamboo Mat in Seismic Events on Republican Masonry Walls

Luis Sierra Alarcón
Juan Rojas Manrique
Alejandro Peña Agatón
Caori Takeuchi Tam

RESUMEN: La mampostería republicana forma parte del patrimonio histórico de Latinoamérica. Sin embargo, su comportamiento ante eventos sísmicos no es óptimo, por esto la conservación de estas construcciones debe contemplar el mejoramiento de su comportamiento estructural. La presente investigación estudia el reforzamiento con esterilla de bambú guadua y analiza su incidencia estructural en muretes construidos con unidades recuperadas de construcciones republicanas. Para el proceso experimental, se construyeron muretes para ensayos de compresión y tensión diagonal, clasificados en tres grupos: muretes sin refuerzo, muretes reforzados con esterilla de guadua sin recubrimiento, y muretes reforzados con esterilla de guadua recubiertos con mortero de cal y metacaolín. En los ensayos, aunque no se observó un aumento de resistencia en los muretes reforzados, se observó un aumento en la deformación y en su ductilidad. Por lo anterior, la esterilla de guadua representa una alternativa viable para mejorar el comportamiento de estructuras republicanas ante eventos sísmicos.

PALABRAS CLAVE: Esterilla de bambú guadua, resistencia a la compresión, resistencia a la tensión diagonal, ductilidad, sismo, mampostería republicana

ABSTRACT: Republican masonry is part of the historical heritage of Latin America. However, their behavior in seismic events is not optimal, therefore the conservation of these constructions should consider the improvement of their structural behavior. This research studies the reinforcement with Guadua bamboo mat and analyzes its structural incidence in walls built with units recovered from republican constructions. For the experimental process, walls were built for compression and diagonal tension tests, classified in three groups: walls without reinforcement, walls reinforced with guadua mat, and walls reinforced with guadua mat covered with lime mortar and metakaolin. In the tests, although no increase in strength was observed in the reinforced walls, an increase in strain and ductility was observed. Therefore, the guadua mat represents a viable alternative to improve the behavior of republican structures in seismic events.

KEYWORDS: Guadua bamboo mat, compressive strength, diagonal tension strength, seism, ductility, republican masonry

RECIBIDO: 15 diciembre 2022

APROBADO: 15 febrero 2023

Introducción

La construcción y su intrínseca relación con la arquitectura han cambiado en todos los países a lo largo del tiempo debido a diversos factores, bien sean las nuevas tecnologías que dan paso a otros métodos de construcción, o a novedosos materiales o refuerzos que simplifican o mejoran el comportamiento de las construcciones [1]. En el sentido artístico, la arquitectura también tiene un papel especialmente relevante en esta evolución. En Colombia y otros países latinoamericanos, luego de las guerras de independencia, se extendió un nuevo modo de construcción que predominó en el periodo comprendido entre 1810 y 1920, etapa conocida como arquitectura republicana [2].

Este tipo de construcción, caracterizada por ser una mezcla de estilos europeos con el uso de ladrillo cocido, está presente en todas las ciudades y pueblos latinoamericanos, especialmente en las zonas históricas [2] [3]. Sin embargo, esta forma de construir no tenía en cuenta la resistencia a los sismos, y el material utilizado, por sí mismo es incapaz de soportar los esfuerzos provocados por este tipo de eventos [4] [5]. Dado que el inventario de estas estructuras en Latinoamérica es grande, se necesita plantear soluciones para proveerle al material esta resistencia de la que carece, con el fin de conservar el patrimonio arquitectónico del periodo republicano.

Diversas alternativas han sido adoptadas a lo largo de los años, y desde la creación de las normativas sismorresistentes en los diferentes países latinoamericanos, se ha demostrado la efectividad de algunas técnicas que mejoran el comportamiento ante sismos de las estructuras de mampostería. Pueden citarse, entre ellas, el uso de encofrados en maderas densas [6] [7] [8], de mallas de acero [9] [10], y el confinamiento de los muros de las construcciones con vigas y columnas de concreto o acero [11] [12] [13]. Sin embargo, y debido a los altos costos de estas técnicas, se hace primordial investigar y proponer otras maneras más ecológicas y económicas de mejorar estructuralmente estas construcciones.

- [1] Goodrum PM, Zhai D, Yasin MF. Relationship between Changes in Material Technology and Construction Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management* [Internet]. 2009 [consultado: 6 de julio de 2022]; 135(4). Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135:4\(278\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:4(278))
- [2] Molina Prieto LF, Hinojosa de Parra R. De la mampostería colonial al ladrillo a la vista. *Nodo* [Internet]. 2011 [consultado: 1 de junio de 2022]; 5(10):[91-112 pp.]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135:4\(278\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:4(278))
- [3] Neira Zúñiga MP. La huella del cemento. Aportes del cemento en la arquitectura republicana. Bogotá, Colombia. 1910-1932 [tesis de grado]. Bogotá: Universidad La Salle; 2020. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/arquitectura/2226>
- [4] Tomazevic M. Some aspects of experimental testing of seismic behavior of masonry walls and models of masonry buildings. *ISSET Journal of Earthquake Technology* [Internet]. 2000 [consultado: 3 de junio de 2022]; 37(404):[101-117 pp.]. Disponible en: <http://home.iitk.ac.in/~vinaykg/isset404.pdf>
- [5] Applied Technology Council (ATC-43 Project), The Partnership for Response and Recovery. FEMA 306. Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings. Basic Procedures Manual. Redwood (California): Applied Technology Council; 1998. Disponible en: <https://mitigation.eeri.org/files/fema-306.pdf>
- [6] Furtado A, Rodrigues H, Arêde A, Varum H. Simplified macro-model for infill masonry walls considering the out-of-plane behaviour. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* [Internet]. 2016 [consultado: 1 de junio de 2022]; 45(4):[507-524 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/eqe.2663>
- [7] Jackson M, Kosso C. *Scientia in Republican Era Stone and Concrete Masonry*. In: Evans JR (ed.). *A Companion to the Archaeology of the Roman Republic*. Blackwell Publishing; 2013. (pp. 268-284). DOI:10.1002/9781118557129.ch17
- [8] Murano A, Ortega J, Vasconcelos G, Rodrigues H. Influence of traditional earthquake-resistant techniques on the out-of-plane behaviour of stone masonry walls: Experimental and numerical assessment. *Engineering Structures* [Internet]; 2019 [consultado: 1 de junio de 2022]; 201:109815. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109815>
- [9] Sneed LH, Baietti G, Fraioli G, Carloni C. Compressive Behavior of Brick Masonry Columns Confined with Steel-Reinforced Grout Jackets. *Journal of Composites for Construction* [Internet]. 2019 [consultado: 5 de agosto de 2022]; 23(5):[412-425 pp.]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000963](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000963)
- [10] De Santis S, De Felice G. Steel reinforced grout systems for the strengthening of masonry structures. *Composite Structures* [Internet]. 2015 [consultado: 5 de agosto de 2022]; 134:[533-548 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.08.094>
- [11] De Pombo Angulo J. Reforzamiento de muros de ladrillo en construcciones republicanas empleando confinamiento externo con elementos metálicos (Celam) [tesis de máster]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2022.
- [12] Shahzada K, Javed M, Alam B, Khan M, Ali Z, Kahn H, MJ, Alam B, Khan M, Ali Z, Khan H, Ali Shah SS. Strengthening of Brick Masonry Walls against Earthquake Loading. *International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering*. 2012; 01(01):10-14.
- [13] Brzev S. *Earthquake-Resistant Confined Masonry Construction*. Kanpur (India): NICEE, National Information Center of Earthquake Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur; 2007. Disponible en: https://www.preventionweb.net/files/2732_ConfinedMasonry14Dec07.pdf

El bambú, material ecológico alternativo a los convencionales, ha demostrado tener una excelente capacidad de disipar la energía sísmica y mejorar el comportamiento estructural de las construcciones [14] [15] [16], tanto como material principal de la estructura en su forma natural, como material adicional de refuerzo al ser aplastado y cortado como esterilla [17], [18].

De la subfamilia del bambú, la guadua destaca como un material que tiene una gran absorción de carbono, gran resistencia, y excepcional tasa de crecimiento [19]. Es por ello que las investigaciones recientes en Colombia han girado en torno a este material, para estudiar y determinar de qué manera potenciar las capacidades que tiene. Los usos y las ventajas que varios autores han encontrado, van desde la reducción significativa del volumen y el peso en los materiales para la construcción de obras [20] [21]; el incremento en la resistencia a la compresión al ser utilizado en la mezcla del adobe [22]; la disipación de la energía sísmica; y la reducción del desmoronamiento del material y el colapso de muros [23] [24].

Teniendo en cuenta lo anterior, en esta investigación se estudia el comportamiento de diferentes muretes elaborados con unidades recuperadas de ladrillos de la época republicana, utilizando como material cementante una mezcla de arena, cal y metacaolín, y reforzados con esterilla de guadua. En el artículo se presentan la metodología empleada en la preparación y la elaboración de los ensayos, así como los resultados más relevantes de la investigación experimental.

Materiales y métodos

Para el análisis del comportamiento de los muros “republicanos”, y más allá, de la incidencia que tiene la esterilla de guadua como método de refuerzo para mejorar el comportamiento estructural de los mismos, se considera necesario separar los diferentes tipos de sollicitación que pueden incidir sobre las construcciones. Para ello se ensayaron muretes a tensión diagonal y a compresión.

Para ambos casos fue usado como material cementante un mortero de cal. Este tipo de mortero tiene la característica de requerir más tiempo para alcanzar su resistencia máxima y de necesitar más agua durante ese proceso, por lo que se usó como aditivo el metacaolín en una cantidad correspondiente al 5 % del peso de la arena y la cal unidas. El metacaolín es un material obtenido por la calcinación de la caolinita, que ha demostrado ayudar a fortalecer las características mecánicas tempranas de los morteros y disminuir el requerimiento de agua durante el proceso de endurecimiento. La proporción usada para este mortero de pega fue de 3 unidades de arena por cada unidad de cal.

- [14] Sharma B, Gatóo A, Bock M, Ramage M. Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials* [Internet]. 2015 [consultado: 3 de julio de 2022]; 81:[66-73 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.077>
- [15] Vogtländer J, Van der Lugt P, Brezet H. The sustainability of bamboo products for local and Western European applications. LCAs and land-use. *Journal of Cleaner Production*. 2010 [consultado: 3 de julio de 2022];18(13):[1260-1269 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.04.015>
- [16] Xiao Y. Engineered bamboo. In: Harries KA, Sharma B. *Nonconventional and vernacular construction materials. Characterisation, Properties and Applications*. Elsevier: Woodhead Publishing; 2016. pp. 433-452.
- [17] Quevedo Figue OF, Gómez Vargas DA. Características mecánicas del adhesivo poliisocianurato como junta de esterilla para laminado [tesis de grado]. Bogotá: Universidad La Gran Colombia; 2018. Disponible en: <http://repositorio.ugc.edu.co/handle/11396/5337>
- [18] Mambuscay Cachay CA. Simulación computacional de conexiones mecánicas simples con elementos de esterilla laminada de guadua [tesis de grado]. Universidad de los andes; 2014. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/17138>
- [19] Archila H, Takeuchi CP, Trujillo D. Mechanical and physical characterization of composite bamboo-guadua products: Plastiguadua. In: *Proceedings: WCTE World Conference on Timber Engineering*, 2014.
- [20] Almeida BS, Muscio E, Iparreño L, Anaya J. Panel prefabricado de guadua-acero-mortero microvibrado con ceniza de cáscara de arroz para vivienda de interés social. *Anales de Edificación* [Internet]. 2019 [consultado: 5 de julio de 2022]; 5(1):[51-65 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.20868/ade.2019.3914>
- [21] Azañedo DD. Evaluación de edificaciones de bambú para la construcción de caseta de triaje COVID 19-2020 [trabajo de investigación]. Perú: Universidad Privada del Norte; 2020. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11537/23951>
- [22] Paradiso M, Cruz RA, Bizzeti F, Farigu A, Lotti O. Usage of Bamboo Powder As An Additive In Adobe Bricks And Bamboo Canes Frame For The Reinforcement Of Adobe Structure. *Revista M* [Internet]. 2019 [consultado: 1 de julio de 2022]; 15:[70-79 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.15332/rev.m.v15i0.2179>
- [23] Paradiso M, Muñoz JF, Galmarini B, D'Ippolito V. La Guadua E L'informale. La Conoscenza Strutturale E La Qualificazione Dei Materiali Naturali Nel Barrio De Invasión Nueva Esperanza, Km 41, Manizales, Colombia. *Revista M* [Internet]. 2019 [consultado: 3 de junio de 2022]; 15:[48-69 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.15332/rev.m.v15i0.2178>
- [24] Bizzeti F. *Analisi sperimentale di pannelli in adobe e bambù: un esempio di recupero di antiche tecniche costruttive latinoamericane* [tesis doctoral]. Firenze: Università degli Studi di Firenze; 2015.

Por otra parte, se utilizaron esterillas de *Guadua angustifolia* Kunth como refuerzo de los muros, instaladas con la ayuda de tornillos autoperforantes y chazos de 1/4", a los que se les añadió arandelas para aumentar el área de contacto entre el tornillo y la esterilla, y disminuir el punzonamiento. También se colocó alambre dulce conectando los tornillos entre sí para estabilizar el refuerzo instalado.

Muretes de compresión

Estos prototipos tienen el objetivo de ser ensayados bajo la acción de la compresión directa de una máquina universal de ensayos, que consta de dos placas de acero, siendo la superior la que se mueve, mientras que la inferior es fija, aplicando la fuerza al muro. Los muretes, a razón de ser construidos con unidades de "ladrillos republicanos", no son completamente uniformes entre ellos, teniendo aproximadamente 46 cm de altura, 25 cm de largo y 26 cm de espesor.

Se diseñaron tres prototipos:

- Prototipo 1: definido en el presente artículo como CSR, es un murete de compresión sin ningún tipo de refuerzo ni de pañete.
- Prototipo 2: definido como CR, es un murete de compresión con un refuerzo de cuatro trozos de esterilla de guadua, con un ancho promedio de 3 cm, cubriendo parcialmente, y de manera vertical, dos caras opuestas de cada muro, pero sin ningún tipo de pañete.
- Prototipo 3: definido como CRP es un murete a compresión reforzado como el segundo prototipo y además, pañetado con una capa del mortero cementante.

Por sus siglas, cada prototipo se definió según la siguiente nomenclatura: CSR Compresión Sin Refuerzo; CR Compresión Reforzado, y CRP Compresión Reforzado Pañetado. De cada prototipo fueron elaborados tres especímenes, para un total de nueve muretes de compresión.

Para el ensayo de estos muretes fueron instalados dos comparadores de carátula en la placa inferior de la máquina de ensayos, y se midió el desplazamiento cada 10 kN.

Muretes de tensión – compresión diagonal

Estos prototipos tienen el objetivo de ser ensayados bajo la acción de la compresión diagonal en un marco de ensayos con un gato hidráulico que permite aplicar la fuerza. Los muretes, a razón de ser construidos con unidades de "ladrillos republicanos", no son completamente uniformes entre ellos, teniendo dimensiones

aproximadas de 63 cm de altura, 56 cm de largo y 26 cm de espesor.

Se diseñaron cinco prototipos:

- Prototipo 1: definido en el presente artículo como CDSR, es un murete de tensión diagonal sin ningún tipo de refuerzo ni de pañete.
- Prototipo 2: definido como CDRDSP, es un murete de tensión diagonal con un refuerzo de cuatro trozos de esterilla de guadua, con un ancho promedio de 3 cm, cubriendo parcialmente, y de manera diagonal, dos caras opuestas de cada muro, pero sin ningún tipo de pañete.
- Prototipo 3: definido como CDRDP, es un murete a tensión diagonal reforzado como el segundo prototipo y además, pañetado con una capa del mortero cementante.
- Prototipo 4: definido como CDRVSP, es un murete de tensión diagonal con un refuerzo de 6 trozos de esterilla de guadua con un ancho promedio de 3 cm, cubriendo parcialmente y de manera vertical dos caras opuestas de cada muro, pero sin ningún tipo de pañete.
- Prototipo 5: definido como CDRVP, es un murete a tensión diagonal reforzado como el cuarto prototipo y además, pañetado con una capa del mortero cementante.

Por sus siglas, cada prototipo se definió según la siguiente nomenclatura: CDSR Compresión Diagonal Sin Refuerzo; CDRDSR Compresión Diagonal Refuerzo Diagonal Sin Pañete; CDRDP Compresión Diagonal Refuerzo Diagonal Pañetado; CDRVSR Compresión Diagonal Refuerzo Vertical Sin Pañete y CDRVP Compresión Diagonal Refuerzo Vertical Pañetado. De cada prototipo fueron elaborados 3 especímenes para un total de 15 muros de compresión.

Para el ensayo de estos muros fueron dispuestos cuatro perfiles de acero que apretaban el muro en sus dos caras, y sobre ellos se instalaron igual número de comparadores de carátula, dos de ellos medían acortamiento, y los otros dos el alargamiento de ambas caras de cada prototipo.

Aunque se ha mencionado esta metodología, se consideró que el ensayo y análisis de los muros de tensión exceden el alcance de lo previsto en este artículo, por lo que sus resultados no se presentan.

Resultados

El montaje de los muretes de compresión en la máquina universal de ensayos puede ser comprobado en las siguientes figuras. (Figuras 1, 2 y 3).



Figura 1. Murete tipo CSR (compresión sin refuerzo). Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Murete tipo CR (compresión con refuerzo). Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Murete tipo CRP (compresión con refuerzo y pañete). Fuente: Elaboración propia.

Posterior al ensayo, se determinaron los valores de carga contra desplazamiento para cada tipo de muro. En la Figura 4 se presenta un resumen de los resultados.

Los resultados de cargas máximas obtenidas en los ensayos de compresión axial sobre los diferentes tipos de muros se presentan en la Tabla 1.

El comportamiento mecánico de los muros de mampostería republicana sometidos a compresión axial evidenciaron una tendencia representada en los diagramas esfuerzo- deformación de los promedios de los distintos tipos de muro presentados en la Figura 6.

Dentro de los cambios específicos en cada ensayo, se observa que los muros con refuerzo alcanzan mayores deformaciones, lo cual implica un incremento en la ductilidad sin fallas repentinas en su estructura, que sí se produjeron en los ensayos de los muros sin refuerzo.

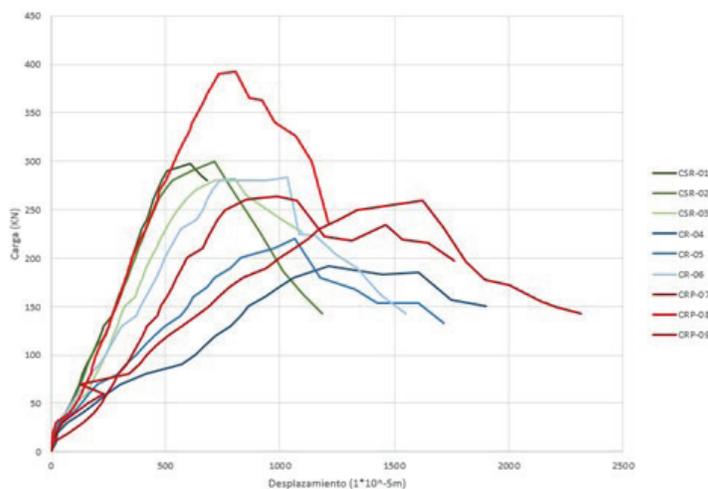


Figura 4. Gráfica Carga vs. Desplazamiento de los ensayos de compresión axial en los muretes de mampostería republicana.

Tabla 1 Resultados obtenidos en los ensayos de compresión axial.

Tipo de Muro	CSR	CR	CRP
Carga Max1 (kN)	297	192	392
Carga Max2 (kN)	300	220	263
Carga Max3 (kN)	283	283	260
Desviación Estándar	9.38	46.55	91.22
Media	293.20	231.63	327.80
Coefficiente de Variación	3%	20%	28%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 1 muestra que, si bien los muros reforzados logran una mayor disipación de energía, al reforzarse, las cargas máximas en los muros tipo CR y CRP disminuyen, teniendo un promedio de 231,63 kN y 327,8 kN respectivamente. Cabe resaltar que para los muros CRP, el muro número 7 presentó una gran resistencia, dada, principalmente, por el tipo de unidades de mampostería republicana que componía el muro, incrementando el promedio de las cargas. Al eliminar este valor atípico, el promedio de las dos unidades restantes dio como resultado 261,6 kN, que representa un valor menor al 263,2 kN alcanzado en promedio por los muros CSR, pero mayor a los muros CR.

Con el propósito de realizar una simplificación de los datos obtenidos, se realizaron las gráficas que aparecen en las Figuras 5 y 6, que muestran el promedio de carga y el esfuerzo para cada tipo de muro. De esta forma, se puede observar que al reforzar los muros se reducen la carga y el esfuerzo máximo que es capaz de soportar cada prototipo, pero aumenta la ductilidad, permitiendo llegar a valores cercanos al doble en las deformaciones unitarias, como se observa en la Tabla 2, en la cual se identifica que las reducciones en los esfuerzos pueden ser hasta del 35 % comparado con los muros sin ningún tipo de refuerzo.

Tabla 2 Resumen de los valores máximos obtenidos en los ensayos experimentales de los muros de mampostería republicana.

Tipo de Muro	Carga Máxima (kN)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria (ϵ)	Esfuerzo Máximo (%)
CSR	293,20	4,27	0,027	0%
CR	231,63	2,77	0,040	-35,1%
CRP	261,60	3,63	0,055	-15,0%

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Bajo el marco y objetivos de la investigación se puede inferir que el comportamiento que presentan los muros en compresión depende del tipo de refuerzo que posean. Resalta, en primer lugar, que los muretes CSR resisten más en cuanto a carga máxima se refiere, sin embargo tienen un comportamiento pobre en cuanto a la ductilidad, y se rompen antes que deformarse demasiado. Los muretes CR y CRP disminuyen su capacidad de resistencia máxima, pero son capaces de deformarse un 46,3 % y un 100,5 % más que los muretes CSR, lo que evidencia un gran

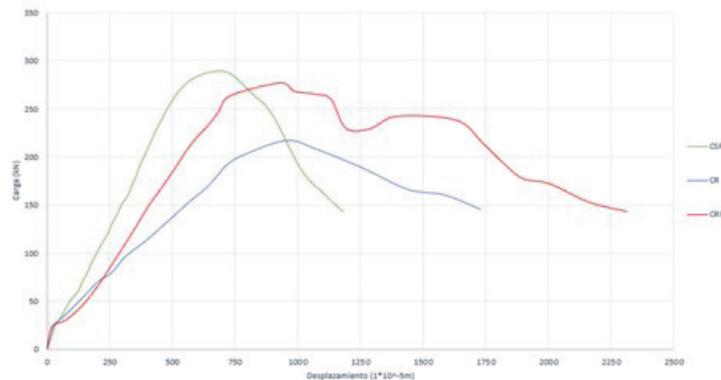


Figura 5. Gráfica Carga vs. Desplazamiento promedio de los tres tipos de muros ensayados a compresión axial. Fuente: Elaboración propia.

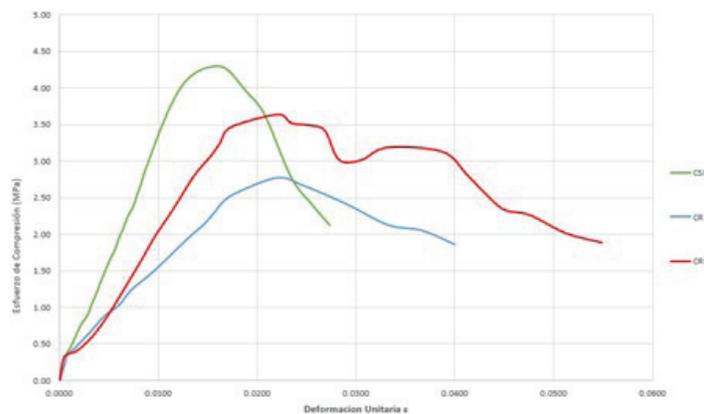


Figura 6. Gráfica Esfuerzo vs. Deformación promedio de los tres tipos de muros ensayados a compresión axial. Fuente: Elaboración propia.

incremento en su ductilidad, reflejado en una mayor zona de fluencia. Este hecho, aunque en principio puede suponer una desventaja estructural, implicaría un mayor tiempo de evacuación en posibles eventos sísmicos que generen afectaciones a las estructuras elaboradas en mampostería republicana, y por consiguiente, representan una alternativa viable para mejorar las condiciones de este tipo de estructuras.

También es importante mencionar que para los prototipos que fueron reforzados, los principales planos de falla se dieron a través del mortero y también en las mismas unidades de mampostería que tenían las perforaciones. La falla en cada ladrillo perforado tuvo forma de "estrella" y dio paso a planos de falla a través de las unidades de mampostería, como se observa en la Figura 7. Este fenómeno pudo ser uno de los causantes de la disminución de la resistencia a la carga de compresión.

De manera similar, en la Figura 7 se observan las dos principales formas en las que los refuerzos de esterilla de guadua cedían ante la fuerza de compresión. Para el refuerzo ubicado a la izquierda se evidencia que, por el aplastamiento, la esterilla se dividió y perdió su capacidad de resistencia. Para el caso del refuerzo ubicado en la parte derecha, la falla se dio por pandeo, al ser el chazo el que cedió ante la fuerza aplicada. Este fenómeno se puede apreciar con mayor detalle en la Figura 8.

Con la adición del pañete se aumentó la capacidad del murete para deformarse y, de igual manera, la carga y el esfuerzo máximo que los muretes lograron resistir. En cuanto a la forma de falla, su comportamiento fue similar al caso de los muros CR, los ladrillos generaban planos de falla a lo largo de las perforaciones, y la esterilla podía fallar por el aplastamiento, como también pandearse en el momento que el chazo no lograba soportar la fuerza a la cual se veía sometido, como se observa en las figuras 9 y 10.

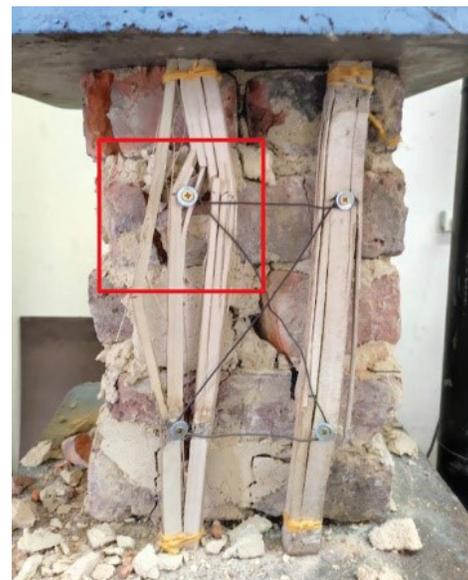


Figura 7. Falla de la esterilla de guadua. Elaboración Propia.



Figura 8. Pandeo del refuerzo. Fuente: Elaboración Propia.



Figura 9. Falla por aplastamiento. Fuente: Elaboración propia.



Figura 10. Falla por pandeo. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El comportamiento de los muretes se corresponde completamente con las proposiciones planteadas al comienzo de la investigación.

Aunque la capacidad de deformación aumentó un 46,3 % para los muros CR, y un 100,5 % para los muros CRP, su capacidad de carga disminuyó un 35,1 % y un 15 % respectivamente.

Se evidenciaron, adicionalmente, incrementos en la ductilidad de los muros con refuerzo, que representan alternativas funcionales ante posibles eventos sísmicos que pongan en riesgo la estabilidad de las estructuras del periodo republicano, brindando un mayor tiempo de evacuación.

Por el modo de falla, sería recomendable añadir algún tipo de mortero cementante al interior de las perforaciones donde van los tornillos, para disminuir la posibilidad de que se produzca un plano de falla en las oquedades.



Luis Sierra Alarcón.
Estudiante de Ingeniería Civil del
Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
de la Universidad Nacional de Colombia,
Bogotá, Colombia
*E-mail: lhsierraa@unal.edu.co
<https://orcid.org/0009-0009-0255-0261>



Juan Rojas Manrique
Estudiante de Ingeniería Civil del
Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
de la Universidad Nacional de Colombia,
Bogotá, Colombia
E-mail: pbrojasman@unal.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-3799-9981>

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que representen riesgos para la publicación del artículo.

DECLARACIÓN DE LA RESPONSABILIDAD AUTORAL

Luis Sierra Alarcón: Conceptualización, curación de datos investigación, metodología, administración del proyecto redacción, revisión y edición del manuscrito.

Juan Rojas Manrique: Conceptualización, curación de datos investigación, metodología, administración del proyecto redacción, revisión y edición del manuscrito.

Alejandro Peña Agatón: metodología, redacción, revisión y edición del manuscrito.

Caori Takeuchi Tam: Conceptualización, adquisición de fondos, recursos, supervisión, validación y revisión y aprobación de la versión final del manuscrito.



Alejandro Peña Agatón
Estudiante de Ingeniería Agrícola del
Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
de la Universidad Nacional de Colombia,
Bogotá, Colombia.
E-mail: jopenaa@unal.edu.co
<https://orcid.org/0009-0003-7765-2250>



Caori Takeuchi Tam
Docente del Departamento de Ingeniería
Civil y Agrícola de la Universidad Nacional de
Colombia, Bogotá, Colombia.
E-mail: cptakeuchit@unal.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-6273-7118>

