



e-ISSN 2588-0721
DOI: [10.33936/riemat.v11i1.8191](https://doi.org/10.33936/riemat.v11i1.8191)

RIEMAT

Página web de la revista: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat>



Artículo Original

Evaluación de propiedades mecánicas y estructurales en muretes de mampostería local con TRM de fibra de vidrio

Evaluation of mechanical and structural properties of local masonry walls reinforced with TRM glass fiber

Jéssica Calderero ^{a *}, Stalin Alcívar ^b

^a Maestría en Ingeniería Civil Mención Estructuras, Facultad de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5823-9876>

^b Departamento de Construcciones Civiles, Arquitectura y Geología, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8430-0534>

* Autor para correspondencia.

jessica.calderero@utm.edu.ec

Recibido: 02/01/2026

Aceptado: 23/01/2026

Publicado: 27/02/2026

Citacion sugerida: Calderero, J. & Alcívar, S. (2026). Evaluación de propiedades mecánicas y estructurales en muretes de mampostería local con TRM de fibra de vidrio. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología. RIEMAT*, 11(1), 15-28. <https://doi.org/10.33936/riemat.v11i1.8191>

Resumen

La mampostería artesanal continúa siendo uno de los materiales complementarios más utilizados en viviendas de zonas rurales y urbanas de Ecuador, por lo que es de vital importancia estudiar su comportamiento frente a acciones sísmicas. El uso de materiales compuestos como los morteros reforzados con textiles, TRM, como por ejemplo los morteros reforzados con fibra de vidrio surge como alternativa viable para mejorar la resistencia y estabilidad de muros de mampostería ya existentes. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia del TRM de fibra de vidrio en el desempeño estructural de mampostería de ladrillos artesanales. Se aplicó el refuerzo en una y en dos caras de mampostería, utilizando dos tipos de mallas con diferentes gramajes. Para esto se realizaron ensayos de compresión axial en prismas conforme a la norma ASTM C1314 y ensayos de compresión diagonal en muretes siguiendo la norma ASTM E519. Se registró la carga axial y el acortamiento para el caso de los prismas y la carga aplicada y los desplazamientos en ambas diagonales para el caso de los muretes mediante el uso de transductores de desplazamiento, LVDT's. Los resultados mostraron que el TRM no genera incrementos significativos en la resistencia axial de los prismas, pero mejora su rigidez inicial. En contraste, los muretes reforzados con TRM alcanzan incrementos en la resistencia al corte respecto a los muretes sin refuerzo, mostrando que además de ser una respuesta más estable y menos frágil, utilizar TRM es una técnica eficaz en para la rehabilitación de muros de mampostería artesanal local.

Palabras clave: mampostería artesanal, resistencia al corte, ensayo de compresión diagonal, refuerzo estructural, rehabilitación sísmica

Abstract

Artisanal masonry continues to be one of the most widely used complementary construction materials in rural and urban housing in Ecuador; therefore, studying its behavior under seismic actions is of critical importance. The use of composite materials such as textile-reinforced mortars (TRM), particularly glass fiber-reinforced mortars, has emerged as a viable alternative to improve the strength and stability of existing masonry walls. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of glass fiber TRM on the structural performance of artisanal brick masonry. The reinforcement was applied on one and two faces of the masonry using two types of meshes with different areal weights. For this purpose, axial compression tests on masonry prisms were conducted in accordance with ASTM C1314, and diagonal compression tests on masonry panels were performed following ASTM E519. Axial load and shortening were recorded for the prism tests, while applied load and displacements along both diagonals were measured for the masonry panels using linear variable displacement transducers (LVDTs). The results showed that TRM does not produce significant increases in the axial compressive strength of the prisms but improves their initial stiffness. In contrast, TRM-reinforced masonry panels exhibited increased shear strength compared to unreinforced panels, demonstrating a more stable and less brittle response, and confirming TRM as an effective technique for the rehabilitation of local artisanal masonry walls.

Keywords: artisanal masonry, shear strength, diagonal compression test, structural strengthening, seismic rehabilitation



1. Introducción

La mampostería es un conjunto de elementos usados en la arquitectura de una construcción que emplea unidades de piedra, ladrillos, bloques u otros materiales, que se ensamblan con mortero para formar muros y otras estructuras. Estos conjuntos son ampliamente utilizados debido a su bajo costo y la disponibilidad de materiales, especialmente en regiones donde los recursos naturales están fácilmente disponibles (Yavartanoo & Kang, 2022). Las edificaciones de mampostería no reforzada, URM, o la mampostería utilizada como elementos no estructurales dentro de sistemas porticados, son especialmente vulnerables en zonas sísmicas debido a la falta de elementos estructurales adicionales que proporcionen resistencia durante un terremoto. Esta vulnerabilidad ha sido ampliamente documentada en estudios que analizan los modos de fallo comunes en estas estructuras (Chácara et al., 2020; Pulatsu et al., 2020).

Durante un sismo, la mampostería no reforzada y en especial la mampostería que se usa como relleno en sistemas aporticados, pueden desarrollar dos modos dominantes de fallo: el mecanismo de corte en el plano, que genera grietas diagonales debido a las fuerzas laterales, y el mecanismo de flexión fuera del plano, donde los muros tienden a colapsar cuando no están adecuadamente anclados o reforzados (Chácara et al., 2020; Pulatsu et al., 2020). En estas estructuras, con mampostería generalmente compuestas por muros de ladrillo sin refuerzos adicionales, carecen de la capacidad para resistir las fuerzas sísmicas, lo que puede resultar en colapsos catastróficos y representar un grave riesgo para la seguridad de las personas. Para contrarrestar dichos efectos colaterales se utilizan diversas técnicas de reforzamiento para los sistemas de mampostería y para la mampostería de relleno de sistemas aporticados, que pueden ser divididas en: reforzamiento externo, post-tensionamiento mediante materiales elásticos y refuerzos con mallas (Sathiparan, 2015), en el cual se destaca el uso de polímeros de fibra reforzada, “FRP” (Fiber Reinforced Polymer). El principal objetivo de este último método es unificar los componentes de la mampostería para prevenir el colapso, utilizando mallas de distintos materiales dúctiles. Además de las mallas de acero, que son las más comunes en el refuerzo de mampostería, se presentan nuevas alternativas como el mortero reforzado con textiles, TRM por sus siglas en inglés, que ayuda a suplir algunas deficiencias del acero, como la corrosión, menor carga adicional a la estructura y una mejor distribución de las cargas dinámicas a las que puede estar sometida la estructura. Los principales tipos de mallas utilizadas en TRM son de fibra de vidrio, GFRP, fibra de carbono, CFRP, y mallas de basalto, BFRP (Ungureanu et al., 2021). También son usados otros métodos como la matriz/mortero cementicio reforzado con fibra/tejido, FRCM, la matriz-rejilla inorgánica, IMG, y el mortero reforzado con acero, SRG, en este último, siempre y cuando los cordones de acero están incrustados en la matriz de mortero (García, 2020). Cabe recalcar que las opciones mencionadas representan la categoría de fibras inorgánicas. Ungureanu et al. (2021) también menciona a las fibras naturales “NP” o matrices orgánicas. Los materiales compuestos, relata Ferrara (2019), representan una categoría en la que se pueden implementar varias soluciones para obtener sistemas más sostenibles. Por ejemplo, el uso de fibras naturales, en lugar de las industriales, como refuerzo de matrices orgánicas e inorgánicas, es una de las posibles características de una nueva clase de materiales generalmente conocidos como biocompuestos. Con base en su origen, las fibras naturales pueden clasificarse como fibras vegetales, animales y minerales. Las fibras vegetales, a su vez, se subdividen en fibras de madera y fibras no leñosas. Estas últimas incluyen diferentes tipos de fibras dependiendo de la parte de la planta de la que se extraen: hojas (sisal, piña, abacá), líber (lino, cáñamo, yute, kenaf, ramio), semillas (algodón), frutos (bono de coco, kapok), paja (arroz, maíz), hierba (bambú). Pero se debe tener especial precaución con el uso de fibras orgánicas leñosas y no leñosas, ya que éstas necesitan de un tratamiento químico único para cada tipo de fibra para soportar el proceso de fraguado del hormigón y adquirir mejores propiedades físicas y mecánicas (Li & Kasal, 2022).

Morteros RM con refuerzos textiles (TRM) y sobre todo con fibra de vidrio, han demostrado ser una de las alternativas más efectivas para aumentar la resistencia a la sísmica en estructuras de mampostería. Según Boem (2022), el TRM con fibra de vidrio se compone de una capa de mortero reforzada con una malla de fibra de vidrio, con lo cual se aumenta la capacidad de carga y la ductilidad de las paredes de mampostería. Esta autora ha demostrado que este tipo de refuerzos aumenta la estabilidad de la construcción para las acciones sísmicas y que, además, elimina varios de los modos de fallo que se presentan en las estructuras URM. Por lo anterior, el análisis de las propiedades de la mampostería y los refuerzos TRM de fibra de vidrio, resulta fundamental para evaluar el comportamiento estructural, así como para optimizar el uso de estos elementos en la construcción de edificaciones más seguras (Dong et al., 2020).

En Ecuador, particularmente en zonas sísmicas como Manabí, la mampostería se utiliza ampliamente en la

construcción, pero a menudo no se considera un elemento estructural clave, lo que la deja vulnerable a las fuerzas sísmicas. El uso de textiles reforzados con fibra de vidrio (GFRP) como mortero (TRM) se presenta como un sustituto interesante para la mampostería rural; sin embargo, aunque este material ha demostrado ser efectivo como material de refuerzo en otros contextos, su uso en la mampostería local sigue siendo marginal. Además, los ladrillos producidos en hornos de ladrillos locales son los materiales más comúnmente utilizados para este tipo de construcción, pero la investigación sobre su comportamiento en combinación con refuerzos de fibra de vidrio es, a nivel local, escasa. La mayoría de los estudios existentes, como Meriggi et al. (2022) y Hyseni (2025), han analizado el uso de fibra de vidrio en refuerzos aplicados a ambas caras de los paneles, y se ha dicho muy poco sobre la posibilidad de aplicar el refuerzo solo de un lado, lo que podría ser más preferible para tipos de construcción con limitaciones espaciales o presupuestarias, como casas adosadas o patrimonios (Ungureanu et al., 2021).

El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento mecánico de muretes y prismas de mampostería local reforzados con TRM de fibra de vidrio, considerando dos tipos de mallas, dos pesos diferentes, y dos configuraciones de refuerzo: en una sola cara y en ambas caras del murete. Se intenta establecer cuál de estas alternativas presenta el nivel óptimo de corte y compresión.

2. Materiales y Métodos

En esta investigación se desarrolló un programa experimental compuesto por ensayos de compresión axial en prismas de mampostería y ensayos de compresión diagonal en muretes, con el objetivo de evaluar el efecto del refuerzo con mortero reforzado con textiles (TRM) de fibra de vidrio sobre el comportamiento mecánico de la mampostería artesanal local.

En total, se fabricaron 15 prismas de mampostería y 15 muretes, considerando cinco configuraciones experimentales: mampostería sin refuerzo (URM), refuerzo con TRM en una cara y refuerzo con TRM en ambas caras, utilizando dos tipos de mallas de fibra de vidrio con diferentes características de acuerdo a la Tabla 1 y 2.

Tabla 1

Configuración de prismas ensayados bajo carga axial.

GRUPO	ENSAYO	TIPO DE REFUERZO	NUMERO DE CARAS REFORZADAS
1	P001, P002	-	-
2	P003, P004, P008	TRM MILICEMENTO	1
3	P005, P006, P007	TRM AQUAPANEL	1
4	P009, P011, P012	TRM MILICEMENTO	2
5	P010, P013, P014	TRM AQUAPANEL	2

Tabla 2

Configuración de muretes ensayados a compresión diagonal.

GRUPO	ENSAYO	TIPO DE REFUERZO	NUMERO DE CARAS REFORZADAS
1	M001,M002,M003	-	-
2	M005,M006,M007	TRM MILICEMENTO	1
3	M004,M008,M009	TRM AQUAPANEL	1
4	M010,M013,M015	TRM MILICEMENTO	2
5	M011,M012,M014	TRM AQUAPANEL	2

Los prismas se emplearon para determinar la resistencia a compresión axial y la rigidez inicial, mientras que los muretes se ensayaron para evaluar la resistencia al corte, la deformación cortante y el modo de falla.

Las probetas de mampostería se construyeron utilizando ladrillos artesanales macizos de arcilla cocida,

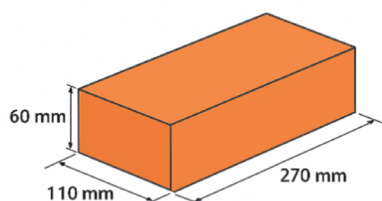
unidos mediante mortero de pega tradicional. Los prismas de mampostería tuvieron dimensiones de $270 \times 350 \times 110$ mm y estuvieron conformados por cinco ladrillos colocados horizontalmente. Los muretes se construyeron con dimensiones de $650 \times 650 \times 110$ mm, representando elementos de mampostería sometidos a esfuerzos cortantes en su plano.

2.1. Materiales

Las unidades de mampostería fueron ladrillos de arcilla cocida, elaborados artesanalmente y con dimensiones de $270 \times 110 \times 60$ mm como se muestra en la Figura 1. De acuerdo a la caracterización del material realizada previamente en la misma ladrillera se definió que las unidades de mampostería producidas por esta ladrillera tienen un esfuerzo a compresión de 5,06 MPa para ladrillos tipo burrito. Este valor a pesar de ser relativamente inferior, resulta representativo de la mampostería artesanal que se produce en Manabí (Cedeño & Alcívar, 2025).

Figura 1

Dimensiones de ladrillo artesanal



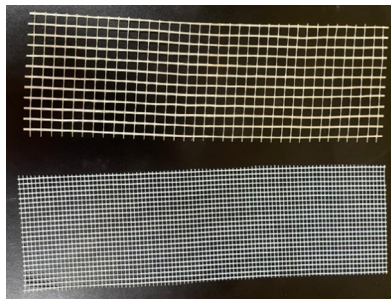
El mortero de pega utilizado para la unión de los ladrillos fue elaborado con una dosificación 1:2 (cemento: arena), mientras que el mortero empleado como matriz del sistema TRM de fibra de vidrio se preparó con una relación 1:1,5, con el fin de garantizar una mayor adherencia y desempeño mecánico del refuerzo. Ambos morteros fueron caracterizados mediante ensayos de compresión en cubos. El mortero del TRM alcanzó resistencias a compresión del orden de 12 MPa a los 7 días, 17 MPa a los 14 días y valores cercanos a 20 MPa a los 28 días, mientras que el mortero de pega presentó resistencias comprendidas entre 12 y 15 MPa a los 7 días, 11 y 12 MPa a los 14 días y valores de hasta 18 MPa a los 28 días. Estos resultados confirman la mayor resistencia del mortero de refuerzo respecto al mortero de pega, coherente con su mayor contenido de cemento y con su función dentro del sistema TRM.

Las juntas de mortero tenían un grosor uniforme de 10 mm. El mortero de recubrimiento utilizado para el sistema TRM de fibra de vidrio presentó una aplicación en ambas caras con un espesor de 15 mm, que fueron suficientes para anclar la malla correctamente.

Se utilizaron dos tipos de mallas de fibra de vidrio para reforzar los especímenes como se muestra en la Figura 2: la Malla 1 (de la marca Milicemento) con un peso por unidad de superficie de 110 g/m^2 , abertura de 5×5 mm y resistencia a tracción de 220 kg/mm^2 y tiene una coloración blanquecina, de acuerdo a la hoja técnica proporcionada por el fabricante. Por otro lado, también se utilizó Malla 2 (de la marca Aquapanel), fabricada en fibra de vidrio álcali-resistente, con un peso por unidad de superficie de $160 \pm 10 \text{ g/m}^2$ y abertura de 4×4 mm. Presenta una resistencia al desgarre de 2500 N/50mm y un espesor aproximado de 0,5 mm y se muestra de color azul, según la hoja técnica proporcionada por el fabricante.

Figura 2

Mallas de refuerzo utilizadas: Malla 1 (superior) y Malla 2 (inferior).



Los ensayos de compresión axial en prismas se realizaron conforme a la norma ASTM C1314 (Standard test method for compressive strength of masonry prisms (ASTM C1314-20)), utilizando una prensa hidráulica ubicada en el laboratorio de estructuras de la Universidad Técnica de Manabí. El sistema de carga estuvo compuesto por un actuador hidráulico con capacidad de 50 toneladas, acoplado a una celda de carga con capacidad de empuje de 30 toneladas, controlado mediante una bomba manual que permitió la aplicación progresiva y uniforme de la carga hasta el colapso del espécimen.

Cada prisma fue instrumentado con transductores de desplazamiento lineal (LVDT), empleándose un LVDT de 200 mm de recorrido para registrar la deformación axial global. Dicho dispositivo no fue anclado directamente al prisma, sino instalado mediante soportes metálicos independientes colocados en la parte superior e inferior del espécimen, garantizando una medición continua de los desplazamientos durante todo el ensayo, incluso en las etapas cercanas a la falla. En la Figura 3 se presenta el montaje experimental utilizado, desde la disposición del prisma y la instrumentación hasta el estado de colapso.

Figura 3

Prisma ensayado bajo compresión axial: (a) colocación LVDT, (b) prisma durante ensayo, (c) prisma colapsado al final del ensayo.



La resistencia a compresión de los prismas (f'_m) se determinó a partir de la carga máxima registrada durante el ensayo, considerando el área neta de la sección transversal del espécimen de acuerdo con la Ecuación (1):

$$f'_m = \frac{P}{A} * Coef_{esb} \quad (1)$$

Donde P es la carga máxima aplicada (kN), A es el área neta de la sección transversal del prisma (mm²) y $Coef_{esb}$ es un coeficiente de esbeltez calculado en función del espesor y altura del espécimen.

El módulo de elasticidad en compresión (E_m) se calculó a partir de la pendiente del tramo lineal inicial de la curva esfuerzo-deformación, según la Ecuación (2):

$$E_m = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2)$$

Donde $\Delta\sigma$ es el incremento de esfuerzo axial en el rango lineal y $\Delta\varepsilon$ es el incremento de deformación unitaria correspondiente. Estas magnitudes se obtuvieron combinando los registros de carga con los desplazamientos medidos por los LVDT.

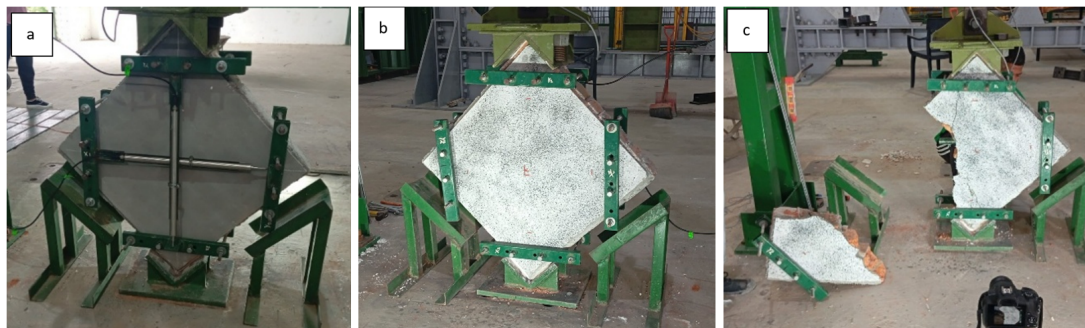
Para evaluar la resistencia a corte de la mampostería se construyeron 15 muretes con dimensiones de 650 x 650 mm, como se muestran en la Figura 4.

Todos los 15 muretes fueron ensayados de manera exitosa y se agruparon en cinco configuraciones experimentales similares a los prismas: 3 muretes de mampostería sin refuerzo (URM), 3 muretes reforzados con Malla 1 en una cara, 3 muretes reforzados con Malla 2 en una cara, 3 muretes reforzados con Malla 1 en ambas caras y 3 muretes reforzados con Malla 2 en ambas caras, como se detalla en la Tabla 2.

Para evaluar el comportamiento a corte de los muretes, se realizó un ensayo de compresión diagonal utilizando la norma ASTM E510 en el laboratorio de estructuras de la Universidad Técnica de Manabí. Para este ensayo, se utilizó la misma celda de carga y el mismo actuador que para los ensayos de prismas. La celda de carga tenía una capacidad máxima de 30 toneladas, el actuador hidráulico presentó una capacidad de empuje de 50 toneladas y su uso fue con bomba manual, que ayuda a aplicar carga gradual y controlada hasta la falla del espécimen. Los muretes, a diferencia del ensayo axial, fueron rotados en 45° respecto de su orientación vertical, con la intención de aplicar la carga de esquina a esquina. De esta forma se simula un estado de esfuerzos correspondiente al comportamiento a corte que generará una acción sísmica. Con el fin de darle la correcta alineación y estabilidad al murete, el espécimen se dispuso en soportes metálicos rígidos dispuestos en ángulo recto (90°), en la base y en la parte superior. Se colocaron capas de yeso donde se apoyó el dispositivo para aplicar la carga, cuyo espesor se estima en 10 mm. De esta forma se evitaron concentraciones de esfuerzo o fallas locales del ladrillo y se aseguró que el sistema esté a una carga uniforme. La disposición general del montaje experimental se puede ver en la Figura 4.

Figura 4

Ensayo de compresión diagonal en muretes: (a) colocación de LVDT, (b) murete durante el ensayo, (c) murete después del ensayo.



En cada murete se colocaron dos transductores diferenciales de variación lineal (LVDT) en las diagonales principales: uno en la dirección horizontal ΔH y otro en dirección vertical ΔV . Estos sensores registraron el desplazamiento relativo entre esquinas opuestas del murete durante la aplicación de la carga.

El esfuerzo cortante nominal (Ecuación 3) y la deformación cortante (Ecuación 4) se calcularon conforme a las ecuaciones indicadas en la ASTM E519:

$$\tau = 0.707 * \frac{P}{A} \quad (3)$$

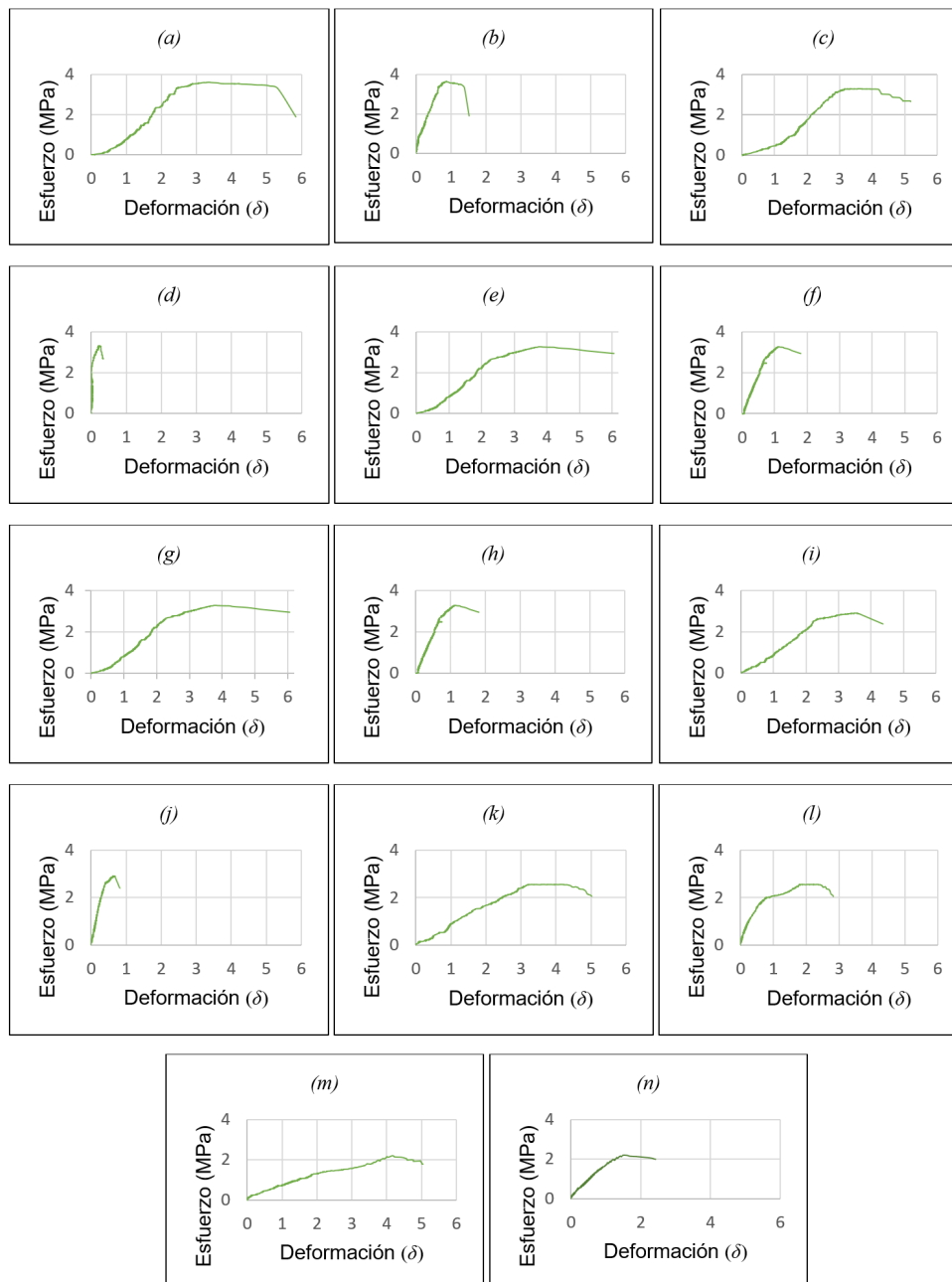
$$\gamma = \frac{\Delta H + \Delta V}{g} \quad (4)$$

Donde P es la carga aplicada, A es el área neta del murete, ΔH y ΔV son los desplazamientos horizontales y verticales, respectivamente, y g es la longitud base correspondiente a la distancia entre los puntos de fijación de los LVDT.

3. Resultados y Discusión

3.1. Ensayos de compresión en prismas

Se ensayaron un total de catorce prismas de mampostería bajo carga axial conforme a la norma ASTM C1314. En la Figura 5 se presentan las curvas esfuerzo-deformación obtenidas a partir de los datos registrados por el LVDT, ordenados desde P001 hasta P014 según la configuración establecida en la Tabla 1.

Figura 5*Curvas esfuerzo-deformación de prismas (P001-P014, de izquierda a derecha)*

En todos los casos, se observa un incremento lineal del esfuerzo axial hasta alcanzar la resistencia máxima, seguido de una caída abrupta que caracteriza un comportamiento frágil.

Los prismas reforzados muestran pendientes iniciales un poco más altas y deformaciones residuales más significativas, lo que evidencia una mejora en la rigidez inicial y en la disipación después del pico máximo en comparación con los prismas no reforzados.

Para cada espécimen se registró la carga máxima (P_{max}), el esfuerzo promedio a compresión (f'_m) y el módulo de rigidez (E_m) obtenido a partir de las curvas esfuerzo deformación de ambos LVDT. Los valores determinados se presentan en la Tabla 3, donde se hace un resumen de los valores obtenidos por cada probeta de carga máxima obtenida, esfuerzo a compresión y módulo elástico.

Tabla 3*Resultados experimentales de los ensayos de compresión en prismas.*

GRUPO	PRISMA	TIPO DE REFUERZO	NÚMERO DE CARAS REFORZADAS	Carga Máxima	Esfuerzo a compresión	Módulo elástico
				Pmax (kN)	f'm (Mpa)	f'm (Mpa)
1	P001	-	-	98,88	3,61	124,71
	P002	-	-	91,12	3,29	77,10
2	P003	Malla 1	1	107,46	3,26	116,24
	P004	Malla 1	1	107,46	3,26	116,24
	P008	Malla 1	1	106,09	3,22	169,06
3	P005	Malla 2	1	95,24	2,90	89,31
	P006	Malla 2	1	84,11	2,56	79,36
	P007	Malla 2	1	73,91	2,21	64,08
4	P009	Malla 1	2	91,83	2,55	151,70
	P011	Malla 1	2	109,45	2,63	111,08
	P012	Malla 1	2	99,1	2,65	131,31
5	P010	Malla 2	2	106,87	2,82	98,40
	P013	Malla 2	2	82,58	2,21	122,59
	P014	Malla 2	2	99,94	2,68	111,28

Los promedios de carga máxima obtenidos para cada configuración de refuerzo quedarían establecidos de:

- Carga máxima URM: 95,00 kN
- Carga máxima TRM Malla 1 en una cara: 107,00 kN
- Carga máxima TRM Malla 2 en una cara: 84,42 kN
- Carga máxima TRM Malla 1 en ambas caras: 100,13 kN
- Carga máxima TRM Malla 2 en ambas caras: 96,46 kN

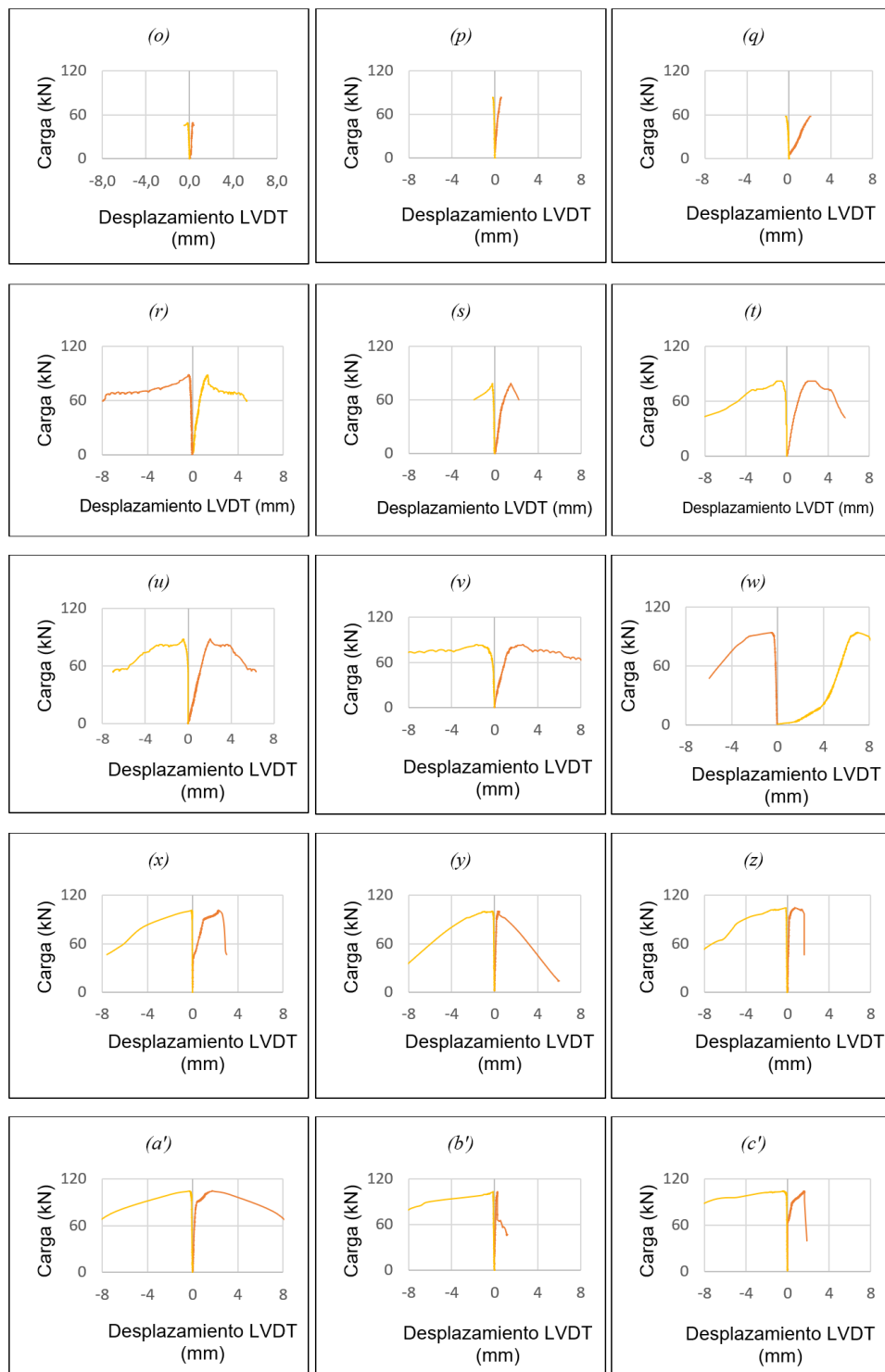
Los refuerzos TRM no incrementaron de forma significativa la resistencia a compresión axial del prisma, lo que es consistente con estudios previos donde los refuerzos añadidos no participan de manera estructural bajo compresión debido a la baja rigidez del mortero. Sin embargo, la resistencia de los prismas reforzados se mantuvo en el mismo orden de magnitud que la de los prismas URM, confirmando que la variación entre grupos se debe a la dispersión del material de mampostería.

Respecto al módulo elástico, el refuerzo con TRM produjo un aumento sistemático de la rigidez inicial siendo más destacado el rendimiento de los especímenes con Malla 1 a una cara que alcanzaron los valores más elevados.

Esto indica que el TRM causa una restricción lateral que retarda la aparición de fisuras longitudinales

3.2. Ensayos de compresión diagonal en muretes

La Figura 6 (o-c') muestra las curvas cara-desplazamiento obtenidas mediante los LVDT horizontales y verticales colocados en los muretes. Todas las configuraciones muestran que la carga se incrementa casi linealmente al principio, seguido por un máximo y posteriormente una caída brusca relacionada con la grieta diagonal principal.

Figura 6*Curvas carga-desplazamiento de muretes (M001-M015, de izquierda a derecha)*

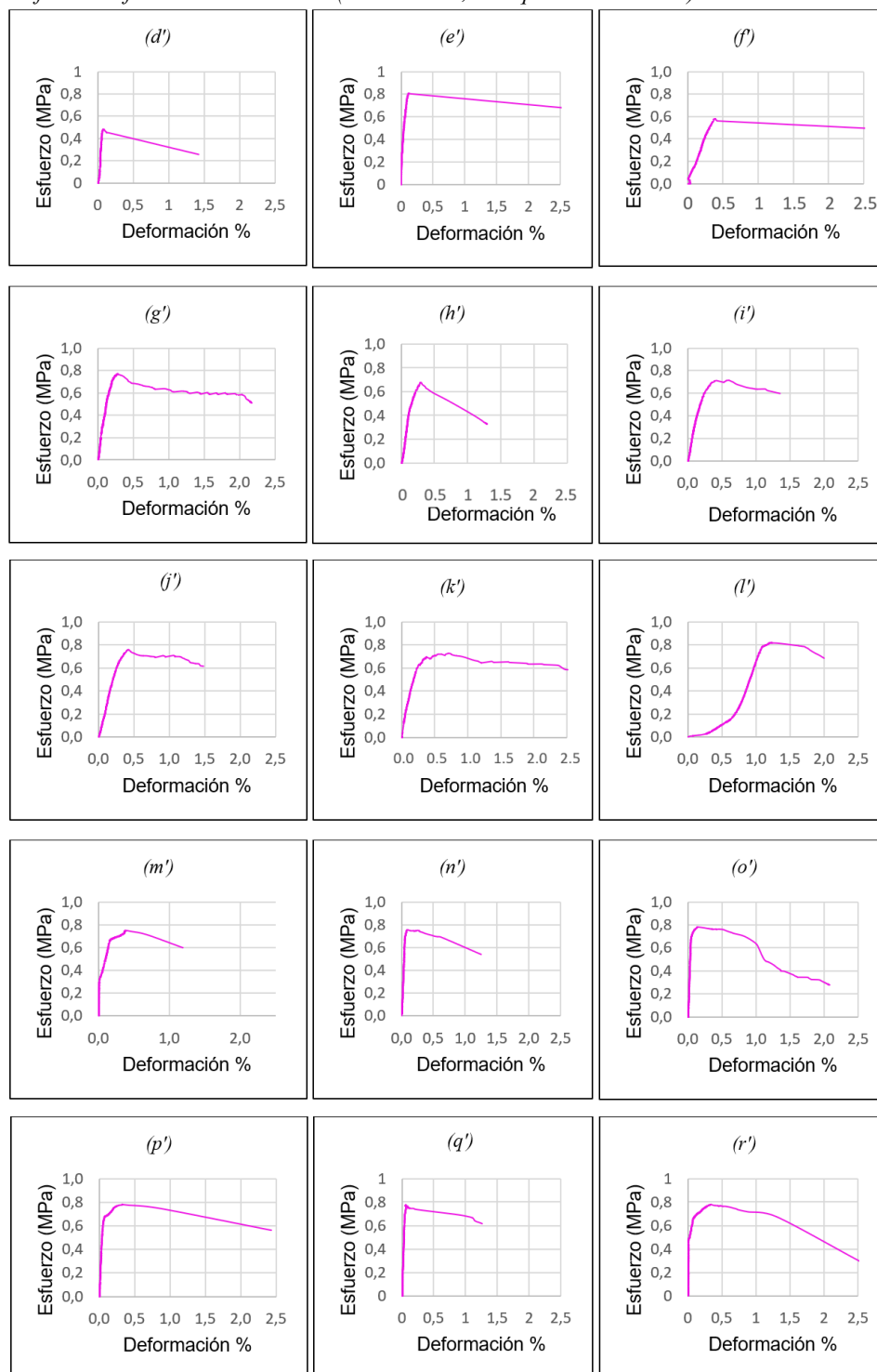
Los especímenes sin refuerzo (URM: M001-M003) presentaron las pendientes iniciales más bajas y los desplazamientos a la falla más reducidos que representan mayor fragilidad. En contraste, los muretes reforzados con TRM mostraron cargas más estables, mayores desplazamientos previos y posteriores al pico

y un comportamiento más gradual después de alcanzar la carga máxima.

La Figura 7 muestra las curvas esfuerzo cortante-deformación cortante correspondientes a las medidas de desplazamiento obtenidas por medio los LVDT. En estas curvas, se presenta un comportamiento inicial casi lineal, un valor máximo del esfuerzo cortante y una posterior pérdida de capacidad resistente asociada a la falla diagonal del murete.

Figura 7

Curvas esfuerzo-deformación de muretes (M001-M015, de izquierda a derecha)



Los muretes URM mostraron la menor pendiente inicial y alcanzaron valores de t_{max} inferiores y con una caída abrupta. Por otro lado, los muretes reforzados mostraron pendiente iniciales más pronunciada y trayectorias más estables, especialmente en las configuraciones a dos caras.

Analizando la contribución de los refuerzos de mampostería empleados en comparación a los muretes no reforzados, se aprecia que los TRM duplicaron la resistencia al corte con respecto a los URM lo que indica que aportan considerablemente como un método de rehabilitación estructural

Las configuraciones a dos caras mostraron incrementos del 15% al 20% respecto a las configuraciones a una cara y también mostraron una mayor área bajo la curva lo que indica una mayor capacidad de disipación de energía.

En cuanto a los tipos de refuerzo utilizados, los muretes reforzados con la malla 2 alcanzaron ligeramente mayores cargas máximas, mientras que en ciertos casos aquellos reforzados con la malla 1 presentaron mejores rigideces iniciales. En ambos tipos de malla el desempeño mejora considerablemente al utilizar un refuerzo en ambas caras del murete en contraste a solo reforzar una cara.

En todos los casos el módulo inicial de corte que se obtuvo de la pendiente del tramo inicial de cada curva aumenta significativamente al incorporar el TRM, lo que demuestra que el refuerzo actúa como un mecanismo de confinamiento superficial que restringe la deformación diagonal inicial del murete.

Para cada espécimen se registró la carga máxima (P_{max}), el esfuerzo promedio a compresión (f'_m) y el módulo de rigidez (E_m) obtenido a partir de las curvas esfuerzo deformación de ambos LVDT. Los valores determinados se presentan en la Tabla 4, donde se hace un resumen de los valores obtenidos por cada murete de carga máxima obtenida, esfuerzo a compresión y módulo elástico.

Tabla 4

Resultados experimentales de los ensayos de compresión en muretes.

GRUPO	PRISMA	TIPO DE REFUERZO	NÚMERO DE CARAS REFORZADAS	Carga Máxima	Esfuerzo a compresión	Módulo elástico
				P_{max} (kN)	f'_m (Mpa)	$= f'_m$ (Mpa)
1	P001	-	-	48,91	0,48	579,32
	P002	-	-	82,59	0,81	622,49
	P003	-	-	57,95	0,58	148,63
2	P005	Malla 1	1	77,77	0,68	230,78
	P006	Malla 1	1	82,15	0,71	117,90
	P007	Malla 1	1	87,83	0,76	183,50
3	P004	Malla 2	1	87,99	0,77	282,12
	P008	Malla 2	1	83,29	0,72	102,03
	P009	Malla 2	1	94,11	0,82	67,19
4	P0010	Malla 1	2	101,08	0,75	186,80
	P013	Malla 1	2	104,16	0,78	239,43
	P015	Malla 1	2	104,76	0,78	229,51
5	P011	Malla 2	2	100,22	0,75	850,54
	P012	Malla 2	2	104,20	0,78	538,27
	P014	Malla 2	2	102,88	0,77	1315,01

Los promedios de carga máxima obtenidos para cada configuración de refuerzo quedarían establecidos de la siguiente forma:

- Carga máxima URM: 63,15 kN
- Carga máxima TRM Malla 1 en una cara: 82,58 kN
- Carga máxima TRM Malla 2 en una cara: 88,50 kN
- Carga máxima TRM Malla 1 en ambas caras: 103,37 kN
- Carga máxima TRM Malla 2 en ambas caras: 102,43 kN

Es importante mencionar también que los muretes URM fallaron por una grieta diagonal única y con una separación evidente entre ladrillo y mortero, mientras que en los muretes reforzados con TRM en una cara esta grieta se formó en la cara no reforzada y se propaga a la zona reforzada con un patrón difuso. Por otro lado, en los muretes reforzados a ambas caras las grietas fueron más distribuidas. La presencia de TRM contuvo el desprendimiento del material y evitó fallas frágiles explosivas.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que el refuerzo con TRM de fibra de vidrio constituye una estrategia eficaz para mejorar el comportamiento al corte de muretes de mampostería artesanal, alcanzando incrementos significativos de resistencia respecto a los muretes sin refuerzo y generando una respuesta más estable y menos frágil bajo cargas diagonales. En los ensayos de compresión axial en prismas, cuando se utilizó TRM para el refuerzo del material no se observaron incrementos relevantes en la resistencia última. A partir de estas pruebas se apreciaron incrementos en la rigidez inicial y en la propagación de grietas, especialmente cuando se aplicó en ambas caras. El refuerzo aplicado en dos caras presentó un mejor comportamiento frente a uno aplicado en una sola cara. Esto se nota en la estabilidad de la respuesta y en la capacidad resistente. Los resultados confirman la potencialidad del TRM de fibra de vidrio como un método viable y accesible para la rehabilitación de muros de mampostería artesanal en zonas sísmicas, así como la utilización de materiales de uso local. Se sugiere como futura línea de investigación realizar ensayos cíclicos que simulen las acciones sísmicas de forma más realista. Utilizando un ensayo que permita cuantificar la capacidad de disipación de energía, la respuesta a múltiples ciclos de carga y la conservación de la integridad estructural del sistema reforzado, se pueden establecer criterios de diseño que favorezcan la aplicación del TRM en proyectos de rehabilitación estructural.

Declaración de disponibilidad de datos

Los autores declaran que los datos utilizados en este estudio se encuentran descritos en el manuscrito y debidamente citados a lo largo del documento. Asimismo, las fuentes de los datos están disponibles en la sección de referencias, con el fin de garantizar la transparencia y la reproducibilidad de los resultados.

Declaración sobre el uso de IA generativa y tecnologías asistidas por IA en el proceso de redacción

Durante la preparación de este manuscrito, los autores utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa con el fin de apoyar la mejora de la redacción, el estilo del texto y la organización de algunas secciones del documento. Estas herramientas fueron empleadas únicamente como asistencia en el proceso de elaboración del manuscrito.

Posteriormente, los autores revisaron cuidadosamente todo el contenido generado o sugerido por dichas herramientas, realizaron las correcciones pertinentes y validaron la información presentada para asegurar su precisión, coherencia académica y rigor científico. Los autores asumen la responsabilidad total por el contenido final del manuscrito.

Declaración de contribución de los autores CRediT

Jéssica Calderero: Conceptualización, investigación, redacción, metodología y redacción. **Stalin Alcívar:** Revisión y edición.

Declaración de conflictos de intereses

Los autores declaran que no tiene nungún interés financiero ni relación personal que pudiera influir en el trabajo descrito en este artículo.

5. Referencias

- ASTM International. (2020). Standard test method for compressive strength of masonry prisms (ASTM C1314-20). ASTM International.
- Boem, I. (2022, Agosto 25). Masonry elements strengthened with TRM: A review of experimental, design and numerical methods. *Buildings*, 12(9), 1307. <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/9/1307>
- Cedeño, C., & Alcivar, S. (2025). Resistencia a cortante de mampostería reforzada. *Revista Ciencia y Construcción*. [Manuscrito no publicado].
- Chácarra, C., Pantò, B., Cannizzaro, F., Rapicavoli, D., Calì, I., & Lourenço, P. B. (2020). Simulation of the out-of-plane behaviour of URM. En *Proceedings of the 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*. <https://doi.org/10.23967/sahc.2021.247>
- Dong, Z., Deng, M., Zhang, C., Zhang, Y., & Sun, H. (2020). Tensile behavior of glass textile reinforced mortar (TRM) added with short PVA fibers. *Construction and Building Materials*, 260, 119897. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119897>
- Ferrara, G. (2019). Tensile strength of flax fabrics to be used as reinforcement in cement-based composites: Experimental tests under different environmental exposures. *Composites Part B: Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.033>
- Garcia, L. (2020). *Seismic retrofit of masonry with innovative materials for strengthening and repair* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya]. UPC Commons. <https://upcommons.upc.edu/entities/publication/b4bee63c-14bf-4cc2-87fb-7e4f5f07bd2d>
- Hyseni, A. (2025). Diagonal shear behaviour of limestone masonry walls strengthened with jute-TRM composite systems. *Construction and Building Materials*, 470, 140572. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.140572>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). NTE INEN 297: Ladrillos de arcilla cocida para mampostería. INEN.
- KNAUF. (2025). *Malla superficial Aquapanel® Outdoor/Indoor*. https://knauf.com/es-ES/p/producto/malla-superficial-aquapanel-r-outdoor-indoor-25431_0096
- Li, J., & Kasal, B. (2022). The immediate and short-term degradation of the wood surface in a cement environment measured by AFM. *Materials and Structures*. <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-022-01988-8>
- Liu, X. G. (2019). Mechanical characteristics and failure prediction of cement mortar with a sandwich structure. *Minerals*, 9(3), 143. <https://www.mdpi.com/2075-163X/9/3/143>
- Meriggi, P., Caggegi, C., Gabor, A., & De Felice, G. (2022). Shear-compression tests on stone masonry walls strengthened with basalt textile reinforced mortar (TRM). *Construction and Building Materials*, 316, 125804. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125804>
- Pulatsu, B., Erdogmus, E., Lourenco, P. B., Lemos, J., & Tuncay, K. (2020). Simulation of the in-plane structural behavior of unreinforced masonry walls and buildings using DEM. *Structures* 27, 2274–2287. doi:10.1016/j.istruc.2020.08.026.

- Ruíz P., W. S., Azúa C., M., & Ortíz. H, E. H. (2018). Mechanical properties of artisanal bricks. *International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research*. <https://sloap.org/journals/index.php/irjeis/article/view/252>
- Sathiparan, N. (2015). Mesh type seismic retrofitting for masonry structures: Critical issues and possible strategies. *Journal of Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.1080/19648189.2015.1005160>
- Ungureanu, D., N. T., D. A., Isopescu, D. N., Mihai, P., & Cozmanciuc, R. (2021). Diagonal Tensile Test on Masonry Panels Strengthened with. *Materials*, 14(22). doi:<https://doi.org/10.3390/ma14227021>
- Yavartanoo, F., & Kang, T. H.-K. (2022). Retrofitting of unreinforced masonry structures and considerations for heritage-sensitive constructions. *Journal of Building Engineering*, 49. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.103993>