

Caracterización a cortante de muros de mampostería con reforzamiento de fibra de polipropileno y malla electrosoldada

Shear characterization of masonry walls with polypropylene fiber reinforcement and electrowelded mesh

Francisco Javier Ruales Posso¹, Edison Wladimir Tupiza Andrango¹,

Luisa Paulina Viera Arroba¹

¹Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 170521;

ewtupiza@uce.edu.ec; lviera@uce.edu.ec

*Correspondencia: fj_ruales7@outlook.com

Citación: Ruales, F.; Tupiza, E. & Viera, L., (2026). Caracterización a cortante de muros de mampostería con reforzamiento de fibra de polipropileno y malla electrosoldada. *Novasinerгия*. 9(1). 185-200.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.17.10>

Recibido: 09 mayo 2025

Aceptado: 15 julio 2025

Publicado: 08 enero 2026

Novasinerгия

ISSN: 2631-2654

Resumen: En Ecuador existe escasa información sobre la resistencia al corte de paredes construidas con mampuestos fabricados localmente y sobre cómo mejorarla mediante técnicas habituales, como el anclaje de malla electrosoldada, frente a otra alternativa más económica y sencilla de aplicar, como el uso de mortero reforzado con fibra de polipropileno (FPP), aplicadas en una o ambas caras. Esta investigación mediante recolección de mampuestos de fabricación artesanal comúnmente usados y siguiendo las directrices de la norma ASTM E519 evaluó las resistencias a cortante y peso de las alternativas de refuerzo, con cinco configuraciones por tipo de mampuesto, hallando que con FPP unilateral el esfuerzo incrementó 73% en muros de ladrillo y 111% en muros de bloque, mientras que la disposición bilateral dio un aumento de 111% y 182% respectivamente; la malla electrosoldada mostró incrementos aún mayores con recubrimiento bilateral; la resistencia creció un 196% en ladrillo y 394% en bloque, y a una sola cara el beneficio fue de 58% y 118% respectivamente. Aunque la malla evita el colapso y aporta los mayores aumentos de resistencia, añade una carga muerta significativa, mientras que las fibras logran ganancias sustanciales con un incremento de peso mucho menor, confirmando así que ambos métodos son viables. Los resultados confirman la hipótesis: el refuerzo, sea con malla electrosoldada o con fibra de polipropileno eleva significativamente la capacidad a corte. El hallazgo clave es que es posible duplicar la resistencia de paredes sin duplicar su peso, reduciendo la vulnerabilidad de las viviendas.

Palabras clave: Bloque, Esfuerzo cortante, Fibra de polipropileno, Ladrillo, Malla electrosoldada, Reforzamiento.

Abstract: In Ecuador, there is scarce information on the shear strength of walls built with locally manufactured masonry and on how to improve it using standard techniques, such as the anchorage of electrowelded mesh, versus other cheaper and easier to apply alternatives, such as the use of mortar reinforced with polypropylene fiber (PPF), applied on one or both sides. This research by collecting commonly used handmade masonry and following the guidelines of ASTM E519 evaluated the shear strengths and weight of the reinforcement alternatives, with five configurations per masonry type, finding that with unilateral FPP the stress increased 73% in brick walls and 111% in block walls, while the bilateral arrangement gave an increase of 111% and 182% respectively; welded mesh showed even greater increases with bilateral cladding; strength increased 196% in brick and 394% in block, and single-sided the benefit was 58% and 118% respectively. Although the mesh prevents collapse and significantly increases strength, it adds significant dead load. At the same time, the fibers achieve substantial gains with a much smaller weight increase, confirming that both methods are viable. The results confirm the hypothesis: Reinforcement with either welded mesh or polypropylene fibre significantly increases shear capacity. The key finding is that it is possible to double the strength of walls without doubling their weight, reducing the vulnerability of dwellings.

Keywords: Block, Shear stress, Polypropylene fiber, Brick, Electrowelded mesh, Reinforcement.



Copyright: 2026 derechos otorgados por los autores a Novasinerгия.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC). (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducción

Ecuador está ubicado en la zona de colisión de las placas Oceánica de Nazca y Continental Sudamericana, por lo que presenta alta actividad sísmica [1]. Se han experimentado varios terremotos a lo largo de su historia, entre los más recientes se destacan el del 16 de abril del 2016 en Pedernales de magnitud 7.8 y el de Esmeraldas el 25 de abril de 2025 de magnitud 6.1 [2]. Este par de eventos pusieron de manifiesto la vulnerabilidad de las estructuras existentes, muchas de las cuales sufrieron daños importantes, especialmente en viviendas construidas sin supervisión técnica [3].

El último sismo de Esmeraldas, según la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos dejó un saldo de 49 personas heridas, 2098 personas afectadas y se reportaron 668 viviendas con distintos niveles de daño, de las cuales 104 se declararon como inhabitables. Además, la infraestructura pública sufrió también, 26 unidades educativas con afectaciones estructurales y 5 centros de salud presentaron desmoronamiento, agrietamiento y fisuras [4].

En el país la mayoría de los edificios se hacen con sistema de pórticos y mampostería de relleno, este sistema estructural se caracteriza por incrementar su rigidez, lo que provoca que ante movimientos telúricos la edificación tenga mucho daño, si a esto se suma el problema de la informalidad en la construcción, es claro notar que se corre grave riesgo con la infraestructura existente dadas estas condiciones [5] [6].

De acuerdo con datos del INEC, en Ecuador el material constructivamente más usado para la edificación de paredes es el bloque de piedra pómez con un 41,8% [7]. Existe un escaso control de calidad tanto en la fabricación de estos mampuestos como en la elaboración del mortero usado para la unión de estos [8].

Se estima que el 65% de las construcciones en la ciudad de Quito son informales, representando un riesgo para aproximadamente 15 millones de habitantes [9]. A esto se suma que un 87,4% de edificaciones son destinadas principalmente a viviendas [7] y comúnmente se emplean pórticos con mampostería que pueden parecer “más rígidos”, pero esa misma rigidez concentra esfuerzos en las columnas reduciendo la ductilidad de marco; por esto, ante sismos moderados o frágiles suelen pasar de un comportamiento dúctil a fallas cortantes frágiles, convirtiéndolos en una de las tipologías estructurales más vulnerables [10].

Por lo expuesto, es importante analizar cómo se podrían reforzar estructuras existentes de una forma que no sea demasiado invasiva en la edificación para que esta no deje de ser operativa en lapsos muy grandes de tiempo y que además sea sencilla de implementar en comparación con otras metodologías de refuerzo estructural.

Por esto, la proyección de un refuerzo podría mejorar su resiliencia estructural traduciéndose en un aumento en la durabilidad de las infraestructuras [11]. En consecuencia, se hace necesario que se planteen soluciones accesibles de reforzamiento o rehabilitación que puedan hacerse sobre las viviendas para prevenir eventuales reparaciones por daños mayores ante un sismo que resulta más costoso. Una de las soluciones más prometedoras consiste en la aplicación de técnicas de reforzamiento de

muros mediante el anclaje de malla electrosoldada o mortero con incorporación de fibras de polipropileno a su vez teniendo en cuenta los costos por rehabilitación en los cuales se indica que la aplicación de malla tiene un valor más elevado en relación a la aplicación de fibras [12] [13] [14]. No obstante, además de evaluar su resistencia de forma experimental (ASTM E519) esta investigación considera el desempeño de ambos sistemas aplicados tanto en una como en dos caras, permitiendo establecer diferencias cuantificables de eficiencia según el tipo de mampuesto utilizado. En el contexto nacional, aún persiste un vacío en la documentación técnica que caracterice de manera específica la mampostería construida con materiales de baja calidad, elaborados artesanal y localmente (Quito), bajo condiciones reales de ejecución. Por ende, no solo aborda esa brecha, sino que también incorpora un enfoque integral al incluir el análisis económico y el impacto en el peso estructural de cada alternativa de refuerzo propuesta, aportando así una visión más completa y aplicable a la realidad constructiva del país.

Esta investigación analiza como el refuerzo de malla electrosoldada o mortero añadido con fibra de polipropileno aumenta la resistencia a cortante en muros de bloque de piedra pómez y ladrillo de arcilla cocida, con la finalidad de que estos datos sirvan para que se puedan implementar estos sistemas de reforzamiento en edificaciones aporricadas con paredes de relleno que usen los mampuestos estudiados.

2. Metodología

La Figura 1 muestra de manera sistemática la metodología que se siguió para realizar el estudio [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21].

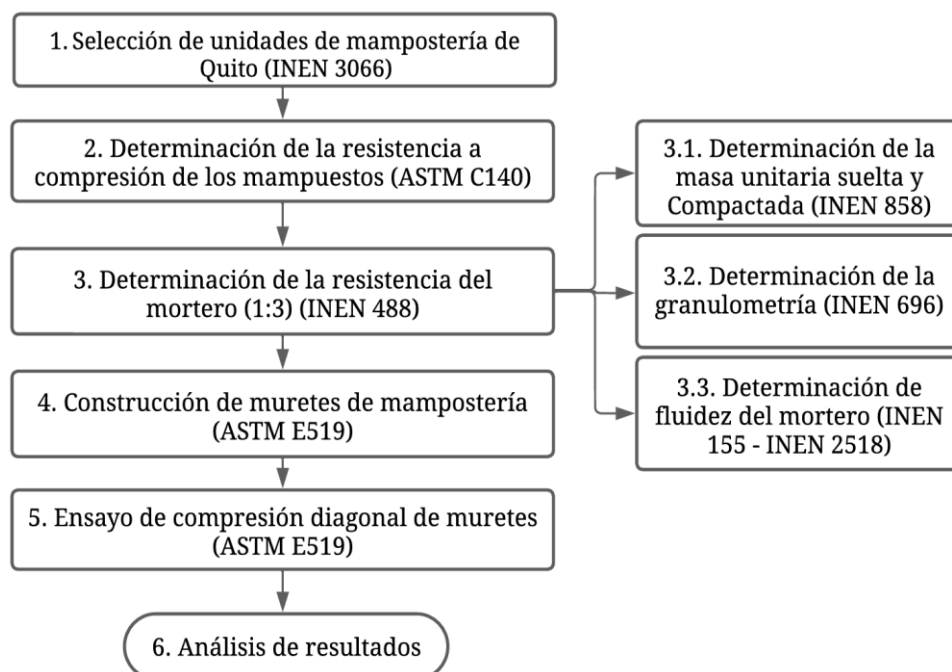


Figura 1. Estructura metodológica de la investigación

2.1. Selección de la mampostería

Se seleccionaron los dos tipos de mampuestos más utilizados en construcciones informales en Ecuador. Con el objetivo de representar de alguna manera las condiciones que se presentan en las construcciones informales, se buscaron fábricas de bloques de piedra pómez y ladrillos de arcilla cocida artesanales de la ciudad de Quito. Se verificó que estas no cuentan con control de calidad de sus productos en su fabricación. A continuación, en la Tabla 1 se muestra la ubicación de las fábricas de las que se tomaron las muestras para este estudio.

Tabla 1. Ubicación por sectores de bloqueras y ladrilleras en la ciudad de Quito

BLOQUERA/LADRILLERA	DIRECCIÓN
Bloquera 1	San Francisco de la Pita OE5-03 y 29 de Mayo – San Antonio de Pichincha – Quito – Ecuador
Bloquera 2	Manuel Cordova Galarza E28 y Jose Antonio Campos – Sector San Antonio de Pichincha – Quito – Ecuador
Bloquera 3	Manuel Cordova Galarza OE 580– San Antonio de Pichincha – Quito – Ecuador
Bloquera 4	Av. Pedro Vicente Maldonado y Calle 100 – Turubamba – Quito – Ecuador
Ladrillera 1	Segundo Arauz y OE20 – Atucucho Carlos– Quito – Ecuador
Ladrillera 2	Av. Mariscal Sucre y Arturo Típanguano – Guamaní – Quito – Ecuador
Ladrillera 3	Av. Mariscal Sucre y Coronel Pedro Concha – Guamaní – Quito – Ecuador

De cada bloquera se obtuvieron 6 muestras según la norma INEN 3066 [15] de las cuales se ensayaron 3 y para los ladrillos se obtuvieron 10 (INEN 3049) [22] de las cuales se ensayaron 5; con el objetivo de evaluar su resistencia y poder elegir así una sola bloquera y una sola ladrillera de la cual se obtendrían los mampuestos para elaborar los muretes.

2.2. Construcción de muretes de mampostería

Se elaboraron 5 tipos de muretes de dimensiones (1.20m x 1.20 m) de acuerdo con la norma ASTM E519 [21] para cada tipo de mampuestos: sin refuerzo (3), con refuerzo de fibra de polipropileno a una cara (3), con refuerzo de fibra de polipropileno a dos caras (1), con refuerzo de malla electrosoldada a una cara (3) y con refuerzo de malla electrosoldada a dos caras (1) teniendo una suma de 11 muretes de bloque y 11 de ladrillo dando así un total de 22 muretes.



Figura 1. Proceso de construcción de muretes y reforzamiento con FPP

La malla electrosoldada que se utilizó fue de 4 mm de diámetro con una separación entre varillas de 15 cm de acuerdo con lo que recomienda La Nueva Guía de la Construcción de Bekaert para la técnica de enchape [23]. La dimensión de esta fue de 1.16 x 1.16 m para dejar un espacio libre de 2 cm en la cara del murete y evitar que parte de la malla quede expuesta en los bordes. Primero se aplicó una capa de revestimiento de 1.5 cm; luego fue necesario anclar la malla a la cara de los muretes. Se emplearon conectores metálicos embebidos con resina epóxica colocados con un espaciamiento de 30 cm en dirección vertical y 45 cm en dirección horizontal (ver Figura 4). Posteriormente se aplicó una segunda capa de mortero de 1.5 cm cubriendo en su totalidad a la malla (ver Figura 5).



Figura 2. Anclaje de malla por medio de conectores



Figura 3. Malla anclada y enlucido final

2.3. *Ensayo de compresión diagonal*

Todos los muretes fueron sometidos a ensayos de compresión diagonal (ver Figura 6) conforme a la norma ASTM E519 [21] para determinar su resistencia al corte. Este tipo de ensayo simula el comportamiento de los muros ante cargas sísmicas. Se registraron cargas máximas y modos de falla lo que permitió establecer comparaciones entre los diferentes tipos de refuerzo.



Figura 4. Ensayo de compresión diagonal a muretes de ladrillo y bloque

3. **Resultados**

3.1. *Determinación de la resistencia de los mampuestos*

De los ensayos realizados a los mampuestos se obtuvieron las resistencias promedio de cada bloquera y ladrillera seleccionada [15]. En la Figura 6 se presentan las resistencias promedio obtenidas de los mampuestos de ladrillo (5) y bloque (3) de cada productor.

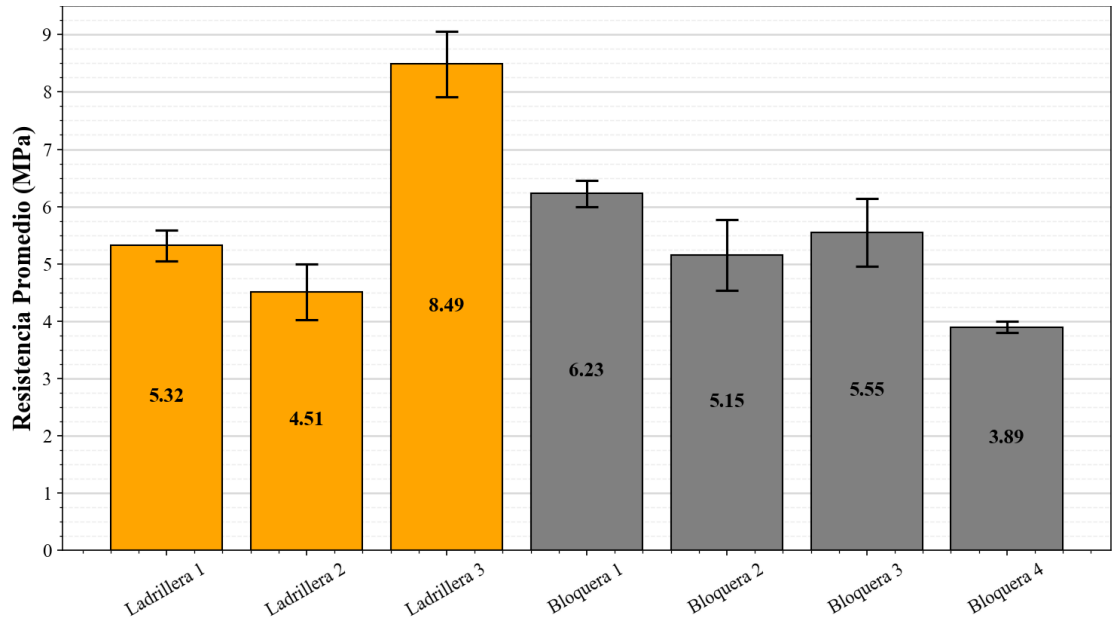


Figura 5. Resumen de resistencias de las ladrilleras y bloqueras

Entre ladrilleras hay diferencia significativa de resistencia lo que corrobora la inexistencia de procesos estandarizados de fabricación. De igual manera resulta preocupante que la menor resistencia se haya dado en una ladrillera del sur (Ladrillera 2) que es el foco de expansión urbano de la ciudad de Quito. Por otro lado, en las bloqueras aparentemente hay una mayor uniformidad, aunque entre la Bloquera 1 y la Bloquera 4 hay casi la mitad de diferencia en resistencia, lo que refleja la falta de calidad en los materiales.

Realizando una comparación con el costo por mampuesto se tienen las siguientes tablas.

Tabla 2. Resumen de resultados y costos por mampuesto de las ladrilleras

UBICACIÓN	Nº	COSTO (CTVS)	RESISTENCIA PROMEDIO
Norte	Ladrillera 1	18	5.32 MPa
Sur	Ladrillera 2	22	4.51 MPa
Sur	Ladrillera 3	24	8.49 MPa

Tabla 3. Resumen de resultados y costos por mampuesto de las bloqueras

UBICACIÓN	Nº	COSTO (CTVS)	RESISTENCIA PROMEDIO
Norte	Bloquera 1	28	6.23 MPa
	Bloquera 2	25	5.15 MPa
	Bloquera 3	25	5.55 MPa
Sur	Bloquera 4	36	3.89 MPa

Según lo indicado en la Tabla 2, se compararon las ladrilleras identificando las que arrojaron una menor resistencia en sus mampuestos y a su vez el costo de cada uno de estos, para así elegir una que tenga un balance tanto en bajo costo como baja resistencia tratando de aproximarse en lo posible a las condiciones existente en construcciones informales. En base

a lo antes expuesto se escogió la “Ladrillera 1” con un costo de 18 ctvs por unidad y una resistencia promedio de 5.32 MPa.

Siguiendo el mismo análisis que en el apartado anterior se compararon los resultados de la Tabla 3, la cual corresponde a las bloqueras; escogiendo así la bloquera 2 con un costo de 25 ctvs por unidad y una resistencia promedio de 5.15 MPa.

3.2. Determinación de la resistencia del mortero

Para la resistencia a compresión del mortero se fabricaron tres especímenes por lote de acuerdo con la INEN 488 [17], es decir: tres en condición de laboratorio, tres en obra y tres en obra con adición de 0.5% de fibra de polipropileno al volumen (ver figura 7); este porcentaje se adoptó en base a un análisis de investigaciones previas en donde se llegó a la conclusión de que este porcentaje permite optimizar el comportamiento del mortero, mejorando su consistencia y propiedades mecánicas, al tiempo que reduce la probabilidad de defectos como fisuras prematuras.

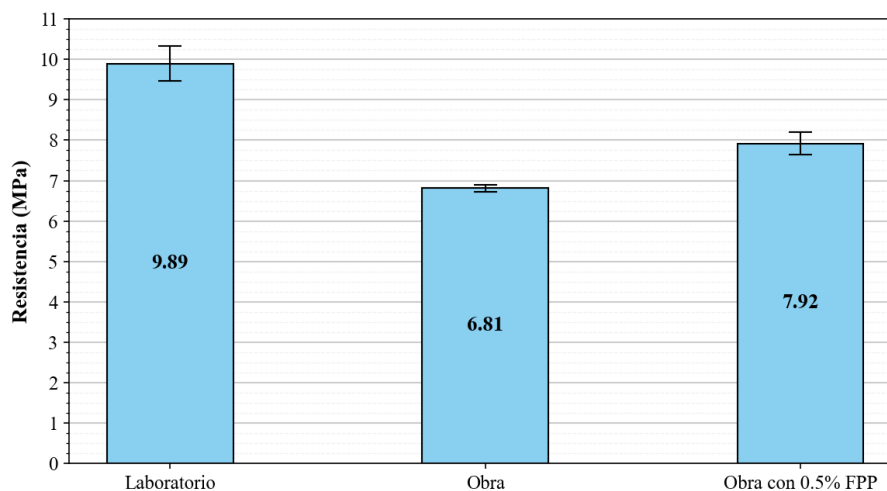


Figura 6. Resistencia promedio de lotes de mortero

La resistencia del mortero en laboratorio es mayor en un 45% dadas las condiciones controladas, en cambio en obra baja significativamente, lo que recalca la importancia de que haya una supervisión técnica en el medio constructivo para sacar el máximo provecho a los materiales que se utilizan.

3.3. Ensayo de compresión diagonal en muretes

En los muretes se presentaron dos tipos de fallas, por tensión diagonal en los mampuestos y por tensión diagonal en las juntas (Figura 8).



Figura 7. Falla por tensión diagonal en muretes de ladrillo y bloque

Los valores obtenidos de esfuerzo cortante promedio para los muretes de ladrillo se indican en la Figura 9.

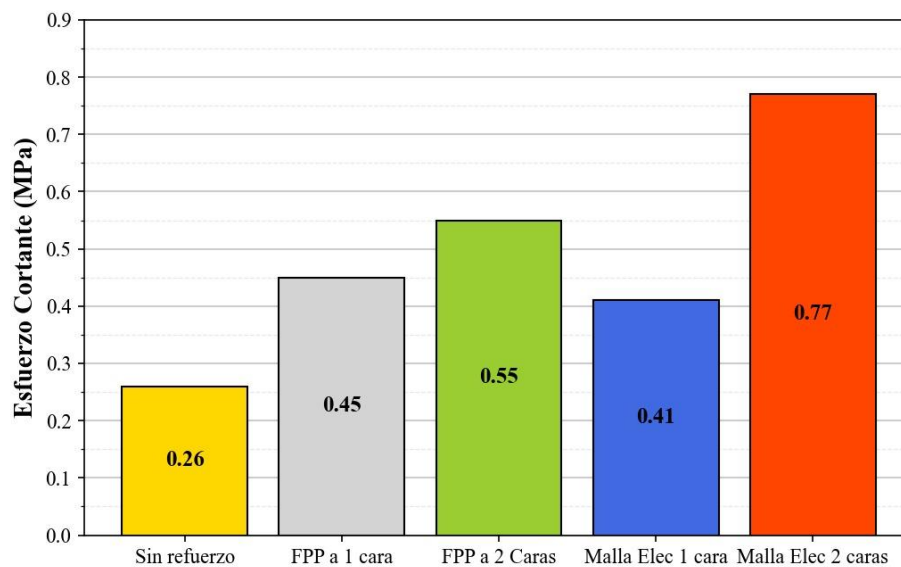


Figura 8. Esfuerzo cortante promedio por tipo de refuerzo en muretes de ladrillo

El refuerzo con malla en dos caras se destacó con diferencia como el mejor, alcanzó el mayor incremento de resistencia, obteniendo una mejora de aproximadamente 196% (0.77 MPa) frente al muro sin reforzar. Este resultado demuestra que la combinación de confinamiento bilateral y la rigidez que aporta la malla electrosoldada permite una redistribución más eficiente de las cargas de cortante, lo que se traduce en un comportamiento más robusto y resistente frente a cargas sísmicas. A esto se añade que se constató que la malla electrosoldada, no permite el colapso inmediato del muro, pues al estar confinada mediante los conectores no existe una falla explosiva (ver Figura 10).

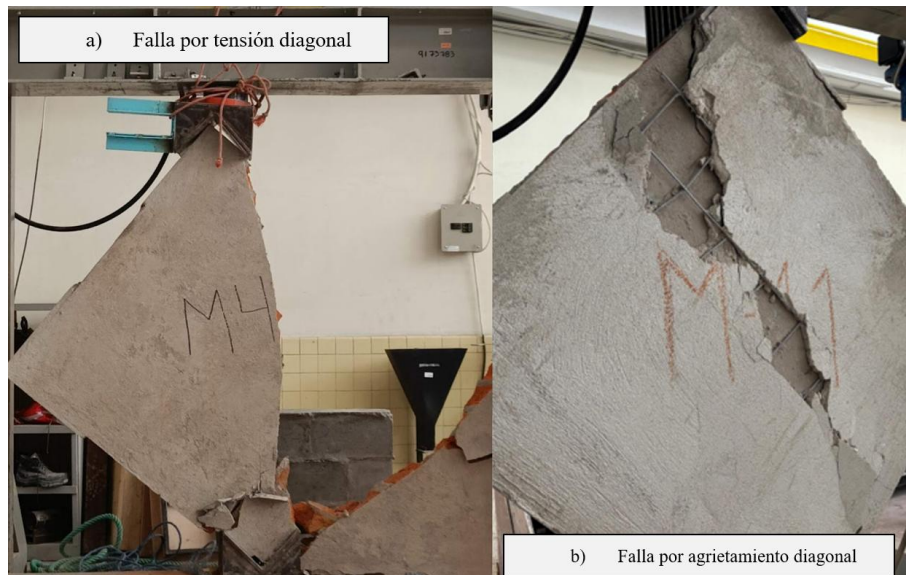


Figura 9. Muretes con refuerzo de mortero con FPP y malla electrosoldada

Además, el análisis muestra que cambiar el refuerzo unilateral a bilateral, tanto en fibra como en malla, produce un aumento en la resistencia. Esto se aprecia mejor en los ladrillos, debido a la resistencia propia del mampuesto. Así se tiene que, con la fibra, el incremento fue del 22%, pasando de 0.45 MPa a 0.55 MPa, así mismo, para la malla, el aumento alcanzó un 88%, partiendo de 0.41 MPa a 0.77 MPa. Este cambio demuestra cómo el refuerzo bilateral ayuda a reducir la excentricidad en la transferencia del esfuerzo, mejorando la simetría del confinamiento previniendo deformaciones fuera del plano, lo que resulta en un mejor desempeño estructural.

Los valores obtenidos de esfuerzo cortante para los muretes de bloque se presentan en la Figura 11.

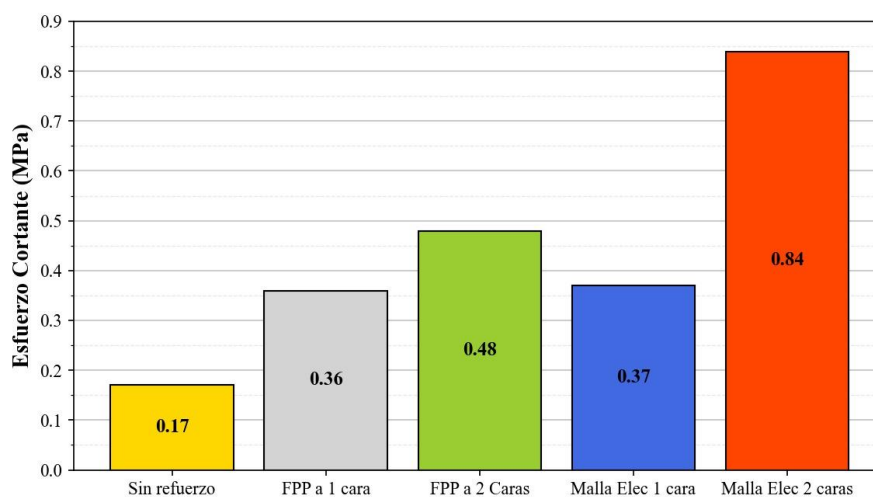


Figura 10. Esfuerzo cortante promedio por tipo de refuerzo en muretes de bloque

Como se puede observar en la gráfica, el refuerzo de malla electrosoldada (0.84 MPa) vuelve a ser el que más resistencia aporta al muro, mejorando un 394% respecto a un muro sin refuerzo (0.17 MPa), este resultado confirma la alta efectividad de la malla electrosoldada sobre todo si esta se aplica en ambas caras, mejorando su capacidad de resistir cargas

laterales, ya que el refuerzo mejora el control de fisuras, su ductilidad y su distribución de esfuerzos internos.

En cuanto al tipo de refuerzo, al igual que en los muretes de ladrillo, la aplicación en dos caras es lo más recomendable independientemente del material que se use, pues como se mencionó anteriormente la bilateralidad reduce la excentricidad en la transmisión de cargas y promueve una respuesta más simétrica, por lo tanto, en el presente estudio se obtuvo que aumenta su resistencia en fibra un 182% y en malla un 394% permitiendo optimizar su comportamiento ante cargas laterales, demostrando la eficacia del refuerzo.

Otro dato interesante es el peso de los muretes con y sin refuerzo (ver figura 12), que puede ser un parámetro de referencia para cuando se necesite decidirse por un refuerzo y que no se incremente demasiado el peso de la estructura.

En la Figura 12 se presenta una comparación entre los esfuerzos cortantes promedios obtenidos tanto para muretes de ladrillo, como para los de bloque y los pesos respectivos para cada configuración de murete.

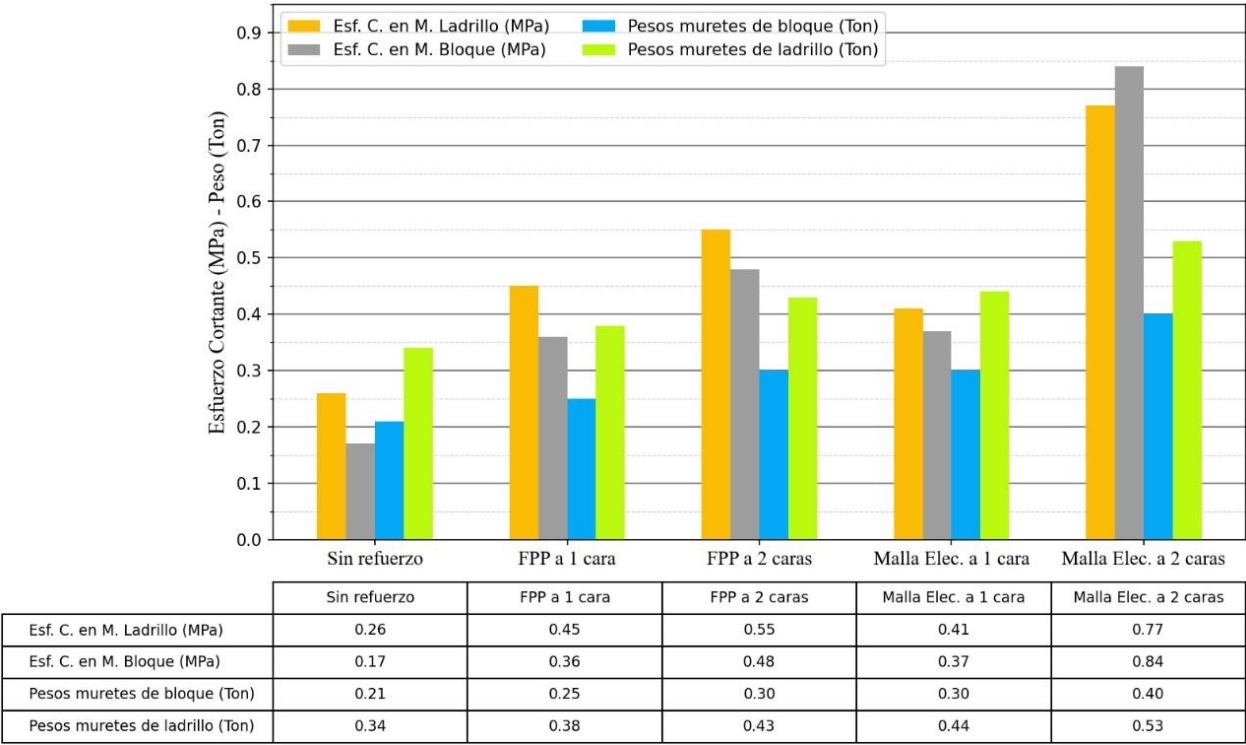


Figura 11. Esfuerzo cortante promedio y peso en muretes de ladrillo y bloque con y sin refuerzo

Los resultados muestran que el mayor esfuerzo cortante se logró con refuerzo de malla en dos caras sobre muretes de bloque (0.84 MPa). Sin embargo, al considerar la eficiencia estructural (resistencia/peso), los muretes de bloque con refuerzo de fibra en dos caras ofrecieron el mejor rendimiento, alcanzando una resistencia de 0.48 MPa con un peso de solo 0.30 Ton.

Con respecto a costos por refuerzo, enfocándose únicamente en los materiales, la diferencia es significativa. Aunque los valores exactos varían según el fabricante y la calidad de los materiales, puede estimarse un rango aproximado por metro cuadrado para reforzar a una sola cara.

Refuerzo con malla electrosoldada: requiere la adquisición de la propia malla, un adhesivo epóxico y anclajes, los cuales suman alrededor de USD 8/m²

Refuerzo con fibra de polipropileno: en este caso solo se añade la fibra al mortero, con un coste cercano a USD 2/m², sujeto al porcentaje de FPP que se incorpore.

En lo que respecta a mano de obra, el reforzamiento con malla electrosoldada implica un mayor gasto, ya que es necesario enlucir la cara del muro, esperar a que este frague para poder anclar la malla electrosoldada y aplicar un segundo enlucido. Este proceso demanda aproximadamente 2 horas-hombre por metro cuadrado, considerando tanto al albañil como al ayudante de albañil.

Conforme al tarifario vigente de la Contraloría 2025, el albañil gana USD 4.28/hora y el ayudante USD 4.23/hora, lo que representa un costo de mano de obra por m² de un aproximado de USD 16.00.

Por otra parte, para aplicar un refuerzo de mortero con fibra de polipropileno, es necesario realizar solo un enlucido, reduciendo el tiempo que se necesita para reforzar un muro con relación a la aplicación de malla electrosoldada, lo que se traduce en una disminución del empleo de mano de obra. En este caso, el trabajo puede realizarse en aproximadamente 0.5 horas-hombre por metro cuadrado, con un costo estimado aproximado de USD 5.

Esta brecha de precios refuerza la conveniencia económica de la FPP cuando se buscan soluciones de bajo presupuesto.

4. Discusión

El análisis comparativo entre los muretes sin refuerzo y los muros reforzados con fibra de polipropileno o malla electrosoldada duplicaron y triplicaron respectivamente la resistencia a cortante alcanzada por los especímenes sin refuerzo (Figuras 10-11), con el efecto más pronunciado cuando la malla se ancló a ambas caras. En términos de demanda sísmica, esto representa una reducción significativa del riesgo de falla frágil. El revestimiento con mortero y FPP actúa como un microconfinamiento que distribuye las fisuras de manera consistente de acuerdo con la literatura sobre morteros poliméricos [24][25], mientras que la implantación de malla crea un armazón externo que restringe la apertura de grietas diagonales. Estos resultados recalcan que el simple paso de un estado sin refuerzo (ver figura 10 a) a uno reforzado (figura 10 b) no solo mejora la capacidad de los muros, sino que también puede llegar a modificar el modo de fallo, pasando de falla por tensión diagonal que a su vez es inmediata a un agrietamiento lento y controlado aun luego de su máxima resistencia en donde actúa la malla y sus conectores logran alargar el tiempo de colapso, otorgando a la estructura un margen de deformación indispensable para disipar energía durante eventos sísmicos.

Estos resultados concuerdan con las tendencias descritas por Castillo et al. [11] y Azuaje et al. [26], quienes reportaron incrementos superiores al 100% en la resistencia a cortante al emplear malla electrosoldada en recubrimientos de mortero. Asimismo, los beneficios del refuerzo con FPP son compatibles y superan con los incrementos moderados (20 – 40%) indicados por Castelo [26] y Afridi et al [27], teniendo incrementos entre el (73% y superiores al 100%).

No obstante, a diferencia de esos estudios, el presente trabajo utilizó unidades de mampostería provenientes de productores artesanales de la ciudad de Quito con resistencias mecánicas inferiores, reproduciendo con mayor fidelidad las condiciones de las edificaciones informales, predominantes en Ecuador.

En conjunto, los hallazgos confirman que la malla electrosoldada anclada a ambas caras es el método de refuerzo más eficaz, sin embargo, esta solución incrementa el peso de los muretes hasta 0.40 Ton en bloque y 0.53 Ton en ladrillo (un aumento del 90 % y 56 % respecto al murete sin refuerzo). No obstante, la incorporación de fibras polipropileno (FPP) en ambas caras permite obtener un buen incremento de resistencia con un peso más reducido (solo 0.30 Ton en bloque y 0.43 Ton en ladrillo), equivalentes a incrementos del 43 % y 26 % frente al muro sin refuerzo, lo que facilita intervenciones menos invasivas y de rápida ejecución.

En un contexto de alta sismicidad como Quito, la reducción de la masa estructural se traduce en menores demandas sísmicas [28] [29], por lo que el refuerzo con FPP constituye una alternativa viable cuando se prioriza la ligereza sin renunciar a la mejora resistente. Estos resultados ofrecen evidencia experimental valiosa para orientar futuras investigaciones y facilitar la toma de decisiones en la rehabilitación sísmica especialmente de viviendas con estructuras de pórticos y paredes de relleno como son en la mayoría de los barrios en Ecuador y particularmente en Quito.

5. Conclusiones

Luego de realizar la interpretación de los resultados del reforzamiento muretes de mampostería de bloque de piedra pómez y ladrillo de arcilla cocida, se tienen las siguientes conclusiones:

La malla en dos caras otorga la mayor capacidad resistente, incrementa la masa hasta en un 90% (bloque) y 56% (ladrillo), lo que puede aumentar las fuerzas sísmicas inducidas. Por otro lado, la fibra de polipropileno a dos caras ofrece un incremento resistente de 73-182% con solo 26-43% más de peso, resultando más eficiente cuando se prioriza la ligereza estructural.

Los beneficios del refuerzo fueron más evidentes en los muretes de ladrillos que en los de bloque, debido a la mayor rigidez propia del ladrillo y a la mejor unión mortero-mampuesto ya que existe mayor superficie de contacto en relación con el bloque, lo que sugiere que la selección del método de rehabilitación debe considerar la tipología del mampuesto existente.

Durante el estudio, se constató que el refuerzo con malla electrosoldada exige una inversión inicial y una logística considerablemente mayor (adquisición de malla, epóxico y anclajes), además de la mano de obra especializada para su colocación. En cambio, el mortero reforzado con fibra de polipropileno requiere hasta un 273% menos de inversión y se aplica con mayor rapidez, pues se coloca como un revoque convencional incorporando únicamente la fibra al mortero. Estas ventajas económicas y operativas sitúan a la FPP como la opción con mejor relación costo-beneficio cuando se necesita intervenir un gran número de viviendas con recursos limitados o plazos ajustados.

Contribuciones de los autores

Conceptualización, P.V.; metodología, F.R., E.T. y P.V.; análisis formal, F.R. y E.T.; investigación, F.R. y E. T.; recursos, F.R. y E.T.; validación, P.V.; redacción—revisión y edición, F.R., E.T. y P.V.; supervisión, P.V. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos “Ing. Víctor Hugo Olalla Proaño” de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Central del Ecuador y al Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional por su apoyo en el desarrollo de los ensayos realizados.

Conflicto de Interés

Los autores no reportan conflictos de interés relacionados con esta investigación.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial Generativa

En la preparación de este artículo, se utilizó ChatGPT para la generación de borradores iniciales. Todo el contenido fue revisado y aprobado por los autores.

Referencias

- [1] M. A. Naranjo Tovar y C. A. Peñaherrera Calvopiña, “Diseño del reforzamiento estructural sismo resistente con enchapado de mampostería de una vivienda con asentamientos diferenciales”, tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2018.
- [2] Redacción, “Sismos más potentes que han afectado Ecuador”, *El Universo*, 17 de abril de 2016. Accedido: 27, nov. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/04/17/nota/5531580/sismos-mas-potentes-que-han-afectado-ecuador/>
- [3] A. García, “Construcciones informales y viejas: causa de los daños en Machala”, *Primicias*. Accedido: 23, abr. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/terremoto-machala-danos-millones/>
- [4] Redacción Primicias, “¿Cómo está la situación en Esmeraldas tres días después del sismo de magnitud 6,1?”, *Primicias*. Accedido: 4, may. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/sociedad/esmeraldas-sismo-temblor-evaluacion-viviendas-damnificados-94938/>
- [5] J. Monical y S. Pujol, “A study of the response of reinforced concrete frames with and without masonry infill walls to earthquake motions”, *Structures*, vol. 63, may. 2024, doi: 10.1016/j.istruc.2024.106345.
- [6] M. Guamán-Naranjo, J. Poveda-Hinojosa, y A. G. Haro-Báez, “Probabilistic Loss Assessment for the Typology of Non-Ductile Reinforced Concrete Structures with Flat Slabs, Embedded Beams, and Unreinforced Infill Masonry”, *Buildings*, vol. 14, no. 10, oct. 2024, doi: 10.3390/buildings14103158.
- [7] V. Paz, M. E. Vallejo y M. Soria, “Evolución histórica de las Estadísticas de Edificaciones (ESED)”, Instituto Nacional de Estadística y Censos. [En línea]. Disponible en: www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2022/anual/18.2022_ESED_Evolucion_historica.pdf
- [8] J. D. O. Maldonado y J. S. M. Noboa, “Seismic Vulnerability Due to Construction Defects”, *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1203, no. 3, p. 032125, nov. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1203/3/032125.

- [9] Comunicación, “Proyecto piloto para disminuir el riesgo sísmico en Quito”, Colegio de Arquitectos del Ecuador. Accedido: 12, feb. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://cae.org.ec/reforzamiento-estructural/>
- [10] Y. Franco Rojas, L. González Díaz, C. B. Milanes, N. S. F. López, y F. Calderín Mestre, “Mampostería confinada vs pórticos de hormigón: Selección de alternativas para viviendas por esfuerzos propios en Cuba”, *modulocuc*, vol. 30, pp. 99-126, ene. 2023, doi: 10.17981/mod.arq.cuc.30.1.2023.04.
- [11] C. Castillo Robles, J. Castillo, P. Placencia Andrade, L. T. Hernández Rodríguez, M. Herrera, y C. Gómez, “Reforzamiento estructural en viviendas adosadas mediante recubrimiento de mampostería con malla electrosoldada y mortero”, *Gaceta Técnica*, vol. 23, no. 2, pp. 53–69, jul. 2022, doi: 10.51372/gacetatecnica232.5.
- [12] V. E. Bendezú Zuñiga y J. P. Laura Huaman, “Influencia del mortero reforzado en la resistencia a la flexión de las rejillas pluviales”, tesis de grado, Universidad Nacional Huancavelica, Huancavelica, Perú, 2022.
- [13] B. G. Márquez y L. D. Rodríguez, “Estudio del comportamiento mecánico de muretes de mampostería reforzados con mallas”, tesis de grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 2014.
- [14] M. A. Maldonado Meneses y A. O. Pozo Clavijo, “Estudio comparativo de las propiedades Físico – Mecánicas entre 4 tipos de mamposterías reforzadas con la técnica del enchape”, tesis de grado, Universidad Central Del Ecuador, Quito, Ecuador, 2019.
- [15] *Bloques De Hormigón. Requisitos Y Métodos De Ensayo*, NTE INEN 3066, Servicio Ecuatoriano de Normalización Ecuador, 2016. [En línea]. Disponible en: https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte_inen_3066.pdf
- [16] *Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units*, ASTM C140/C140M-22b, American Society for Testing and Materials, 2022. [En línea]. Disponible en: https://store.astm.org/c0140_c0140m-22b.html
- [17] *Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista*, NTE INEN 488:2009, Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1FvqQCwxe89DfPCl0nPkeRpQFbY77UX8/view>
- [18] *Áridos. Determinación de la masa unitaria (Peso Volumétrico) y el porcentaje de vacíos*, NTE INEN 858:2010, Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/16107439/NTE_INEN_0858_%C3%81ridos_Determinaci%C3%B3n_de_la_masa_unitaria_peso_volum%C3%A9trico_y_el_porcentaje_de_vac%C3%ADos
- [19] *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*, NTE INEN 696:2011, Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/granulometria-nte-inen-696/251239856>
- [20] *Mortero para unidades de mampostería. Requisitos*, NTE INEN 2518:2010, Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/495075269/INEN-2518>
- [21] *Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages*, ASTM E519/E519 M-22, American Society for Testing and Materials, 2022. [En línea]. Disponible en: https://store.astm.org/e0519_e0519m-22.html
- [22] *Ladrillos Cerámicos*, NTE INEN 3049, Servicio Ecuatoriano de Normalización Ecuador, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/488116494/nte-inen-3049-parte1>
- [23] *La Nueva Guía de la Construcción*, IdealAlambrec, 2019. Disponible en: <https://www.bekaert.com/es/productos/construccion>
- [24] A. Merino y C. Alano, “Caracterización de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno”, tesis de grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 2008.
- [25] A. J. Yepes Tapia, “Muros de mampostería colonial revestidos con mortero a base de cal reforzado con fibras como una alternativa de restauración y reforzamiento de edificaciones antiguas en la ciudad de Cartagena”, tesis de grado, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia, 2020.
- [26] K. Castelo Holgado, “Influencia del reforzamiento del mortero con fibras de polipropileno en albañilería confinada en la Ciudad del Cusco – 2020”, tesis de grado, Universidad César Vallejo, Lima, Perú, 2021.

- [27] B. Zaman Afridi, K. Shahzada, y M. Tayyab Naqash, "Mechanical properties of polypropylene fibers mixed cement-sand mortar", *J. Appl. Eng. Science*, vol. 17, no. 2, pp. 116–125, 2019, doi: 10.5937/jaes17-19092.
- [28] Instituto Nacional de Prevención Sísmica, "Nociones de Ingeniería Sismorresistente", Argentina.gob.ar. Accedido: 7, may. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/inpres/ingenieria-sismorresistente/nociones-de-ingenieria-sismorresistente>
- [29] A. Mwafy y S. Khalifa, "Effect of vertical structural irregularity on seismic design of tall buildings", *Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 26, no. 18, ago.. 2017, doi: 10.1002/tal.1399.