



**Evaluación del
desempeño sísmico de
viviendas de albañilería
confinada mediante el
reforzamiento con mallas
de polímero reciclado en
asentamientos humanos
de Lima Metropolitana:
Una revisión narrativa**

Wilson Misme Medina

Evaluación del desempeño sísmico de viviendas de albañilería confinada mediante el reforzamiento con mallas de polímero reciclado en asentamientos humanos de Lima Metropolitana: Una revisión narrativa

Wilson Misme Medina

RESUMEN

La autoconstrucción informal en los asentamientos humanos de Lima Metropolitana representa un desafío crítico de seguridad pública ante el inminente silencio sísmico en la costa central del Perú. El presente artículo de revisión narrativa evalúa el desempeño sísmico de viviendas de albañilería confinada reforzadas con mallas de polímero reciclado, una alternativa de bajo costo enmarcada en la economía circular. Mediante un análisis de la literatura técnica y experimental, se evidencia que el uso de polímeros como el PET y el HDPE reciclado incrementa la ductilidad de los muros y mejora la capacidad de disipación de energía entre un 30% y 45%. A diferencia de los métodos convencionales, estas mallas proporcionan un confinamiento externo que controla la degradación de rigidez y transforma los modos de falla frágil — caracterizados por grietas en "X" — en fisuraciones distribuidas que evitan el colapso repentino. Se concluye que esta técnica no solo es estructuralmente viable para mitigar riesgos en unidades de ladrillo tubular, sino que también es económicamente accesible para poblaciones vulnerables. No obstante, su masificación requiere de una actualización normativa y programas de capacitación comunitaria que estandaricen su aplicación y garanticen la adherencia del sistema, consolidando una solución sostenible y socialmente responsable para la resiliencia urbana.

Palabras clave: Albañilería confinada, desempeño sísmico, polímero reciclado, reforzamiento estructural, asentamientos humanos.

ABSTRACT

Informal self-construction in the human settlements of Metropolitan Lima presents a critical public safety challenge given the imminent seismic silence on the central coast of Peru. This narrative review article evaluates the seismic performance of confined masonry houses reinforced with recycled polymer mesh, a low-cost alternative within the framework of the circular economy. Through an analysis of technical and experimental literature, it is shown that the use of polymers such as recycled PET and HDPE increases the ductility of the walls and improves energy dissipation capacity by 30% to 45%. Unlike conventional methods, these meshes provide external confinement that controls stiffness degradation and transforms brittle failure modes—characterized by "X" cracks—into distributed cracking that prevents sudden collapse. It is concluded that this technique is not only structurally viable for mitigating risks in tubular brick units but is also economically accessible to vulnerable populations. However, its widespread adoption requires updated regulations and community training programs to standardize its application and ensure adherence to the system, thus consolidating a sustainable and socially responsible solution for urban resilience.

Keywords: Confined masonry, seismic performance, recycled polymer, structural reinforcement, human settlements.

INTRODUCCIÓN

El Perú se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, una de las regiones de mayor actividad sísmica en el mundo. Particularmente, la costa central del país enfrenta un escenario crítico debido al denominado "silencio sísmico" que persiste desde el terremoto de 1746. Según proyecciones del Instituto Geofísico del Perú (IGP), la acumulación de energía elástica en la zona de subducción frente a Lima Metropolitana podría desencadenar un evento de magnitud superior a \$8.8 M\$. Esta amenaza natural se ve exacerbada por una vulnerabilidad física sistémica: el crecimiento descontrolado de asentamientos humanos en laderas de cerros y suelos de baja capacidad portante, donde la ocupación del territorio ha ignorado las normas de zonificación y seguridad (Indeci, 2023).

En estos sectores periféricos, la albañilería confinada es el sistema constructivo predominante, pero su ejecución se realiza mayoritariamente a través de la

autoconstrucción informal. Investigaciones previas señalan que estas estructuras presentan deficiencias críticas, como el uso de ladrillos tubulares (pandereta) en muros portantes —práctica prohibida por la Norma Técnica E.070 debido a su comportamiento frágil—, la ausencia de una conexión dentada adecuada entre el muro y la columna, y dimensiones insuficientes en los elementos de confinamiento (San Bartolomé et al., 2011). En un evento sísmico severo, estas viviendas no poseen la ductilidad necesaria para disipar energía, lo que conlleva a fallas por corte catastróficas y al colapso progresivo de las edificaciones.

Ante esta realidad, surge la necesidad imperativa de implementar técnicas de reforzamiento sísmico que sean técnica y económicamente viables para la población de bajos recursos. El reforzamiento tradicional mediante encamisados de concreto o mallas electrosoldadas suele ser invasivo y costoso, lo que limita su adopción masiva. En este contexto, el low-cost retrofitting mediante mallas de polímero reciclado se presenta como una alternativa disruptiva. Esta propuesta no solo busca mejorar el desempeño estructural, sino que se alinea con los principios de la economía circular al reutilizar residuos plásticos (PET, HDPE o polipropileno), reduciendo el impacto ambiental de la industria de la construcción (García & Tarque, 2020).

La implementación de estas mallas actúa como un refuerzo externo que confina la mampostería, permitiendo que el muro mantenga su integridad incluso después de la aparición de grietas severas. Estudios experimentales han demostrado que el uso de polímeros puede incrementar la capacidad de deformación lateral y evitar la disgregación de las unidades de albañilería, factor determinante para garantizar la evacuación segura de los ocupantes.

El objetivo del presente artículo de revisión es evaluar el desempeño sísmico de viviendas de albañilería confinada reforzadas con mallas de polímero reciclado en el contexto específico de los asentamientos humanos de Lima. Para ello, se analizarán las propiedades mecánicas de estos materiales y su impacto en la respuesta estructural global, sintetizando la evidencia científica reciente que respalda su viabilidad como solución sostenible para la mitigación del riesgo de desastres en zonas vulnerables.

METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque de revisión narrativa de la literatura, con el propósito de integrar y analizar críticamente la evidencia técnica existente sobre el uso de polímeros reciclados en la ingeniería estructural. Para asegurar la calidad de la información, se estableció un protocolo de búsqueda y selección de fuentes que permite contrastar los métodos tradicionales de reforzamiento con las nuevas alternativas sostenibles aplicables al contexto de Lima Metropolitana.

Estrategia de búsqueda y fuentes de información

La recopilación de datos se llevó a cabo mediante una búsqueda exhaustiva en bases de datos de alto impacto y repositorios académicos especializados. Se priorizaron plataformas como Scopus y Web of Science para obtener estudios con revisión por pares de alcance internacional, así como SciELO y Redalyc para capturar la producción científica regional en América Latina.

Dada la naturaleza local del problema, se consultaron de manera estratégica los repositorios de instituciones líderes en investigación sísmica en el Perú, específicamente de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) a través del CISMID. Las palabras clave empleadas, tanto en español como en inglés, incluyeron términos como "albañilería confinada", "reforzamiento sísmico", "mallas de polímero reciclado", "PET en construcción", "low-cost retrofitting" y "vulnerabilidad sísmica en Lima".

Criterios de inclusión y selección de estudios

Para garantizar la validez de las conclusiones, los documentos seleccionados debieron cumplir con criterios técnicos rigurosos. Se incluyeron investigaciones publicadas principalmente entre los años 2015 y 2026, abarcando tres ejes fundamentales:

1. Estudios experimentales: Ensayos de carga lateral cíclica y pruebas en mesa vibratoria que evalúen muros de albañilería a escala real o reducida.
2. Simulaciones numéricas: Modelamientos mediante el método de elementos finitos (MEF) que analicen la interacción entre el polímero y la unidad de albañilería.
3. Caracterización de materiales: Artículos científicos que detallen las propiedades

mecánicas (módulo de elasticidad, resistencia a la tracción y elongación) de polímeros reciclados como el Polietileno de Alta Densidad (HDPE), Polipropileno (PP) y Tereftalato de Polietileno (PET).

Proceso de síntesis y análisis de datos

El análisis de la información se realizó mediante una técnica de síntesis comparativa. Se establecieron matrices de datos para contrastar los resultados de desempeño sísmico entre los métodos de reforzamiento convencionales —como el uso de mallas electrosoldadas y el encamisado de concreto— frente a las propuestas de mallas de polímero reciclado.

Este proceso de síntesis permitió identificar variables críticas como el índice de ductilidad, la capacidad de disipación de energía y la degradación de rigidez. Asimismo, se evaluó la factibilidad constructiva en asentamientos humanos, considerando la facilidad de instalación y el costo de los materiales. Finalmente, la información fue organizada de manera temática para discutir la eficacia de estas mallas en la prevención del colapso frágil de las viviendas informales en Lima, asegurando que la revisión no solo sea teórica, sino aplicable a la gestión del riesgo de desastres (Tarque et al., 2021).

RESULTADOS

Propiedades mecánicas de las mallas de polímero reciclado

El análisis de la caracterización de materiales revela que las mallas fabricadas a partir de polímeros reciclados (principalmente PET y HDPE) presentan un comportamiento mecánico elastoplástico altamente beneficioso para el confinamiento externo. Los ensayos de tracción uniaxial indican que estas mallas poseen una resistencia a la tracción que oscila entre 150 y 280 MPa, dependiendo de la densidad del tejido y el proceso de extrusión del plástico reciclado. Un hallazgo crítico es su capacidad de elongación, la cual supera significativamente a la de las mallas electrosoldadas convencionales, permitiendo deformaciones de hasta el 15% antes de la rotura (Gómez & Soto, 2024). Esta elasticidad es fundamental para absorber los desplazamientos laterales impuestos por un sismo sin que el refuerzo falle de forma frágil.

Desempeño ante cargas laterales y disipación de energía

Los resultados de los ensayos de carga cíclica en muros de albañilería informal (ladrillo pandereta) demuestran que la implementación de la malla de polímero incrementa la capacidad de disipación de energía en un rango del 30% al 45% en comparación con muros no reforzados. Se observa que el refuerzo actúa como una "faja de contención" que controla la degradación de la rigidez lateral durante los ciclos de carga y descarga. Mientras que los muros sin refuerzo pierden su estabilidad estructural tras alcanzar una deriva del 1%, los muros reforzados mantienen su integridad de carga gravitacional incluso en derivas cercanas al 1.5%, lo que reduce drásticamente el riesgo de colapso total (Morales et al., 2023).

Modos de falla y control de agrietamiento

En cuanto a la fenomenología de la falla, las investigaciones revisadas coinciden en que la malla de polímero modifica el mecanismo de colapso. En muros de albañilería sin refuerzo, la falla típica es de corte, manifestándose a través de grietas diagonales en "X" que atraviesan las unidades de ladrillo y las juntas de mortero de forma súbita. Con la aplicación del refuerzo superficial, se observa una redistribución de esfuerzos: la malla restringe la apertura de las grietas, transformando la falla frágil en una falla distribuida de múltiples microfisuras. Esto evita el desprendimiento de trozos de muro (exfoliación), un factor de riesgo mortal en los estrechos pasajes de los asentamientos humanos de Lima (CISMID, 2024).

Viabilidad económica y accesibilidad social

El análisis comparativo de costos arroja que el uso de polímero reciclado reduce el costo del material de reforzamiento en un 60% respecto a las geomallas comerciales de polímero virgen y en un 40% respecto a las mallas de acero electrosoldado. Considerando que el ingreso promedio en los asentamientos humanos de Lima Metropolitana es limitado, esta reducción de costos es determinante para la viabilidad del proyecto. Además, la técnica de instalación no requiere maquinaria pesada ni mano de obra altamente especializada, permitiendo que el reforzamiento se ejecute bajo esquemas de autogestión comunitaria asistida, lo que aumenta la resiliencia social de las zonas vulnerables (Villarán & Castro, 2025).

DISCUSIÓN

Eficacia estructural y comparativa de materiales

La evaluación del desempeño sísmico revela que, si bien las mallas de polímero reciclado no alcanzan la rigidez ultra-alta de los polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) o vidrio (GFRP), su comportamiento es notablemente superior en términos de ductilidad y costo-efectividad para la vivienda social. Mientras que el CFRP es un material de respuesta frágil y costo prohibitivo para los asentamientos humanos, el polímero reciclado (PET/HDPE) ofrece una capacidad de deformación inelástica que permite la redistribución de esfuerzos en muros de ladrillo pandereta. Los resultados sugieren que no se requiere una rigidez infinita para salvar vidas, sino un confinamiento que mantenga la integridad del muro tras el agrietamiento inicial, objetivo que las mallas recicladas cumplen con una eficiencia técnica comparable a las geomallas comerciales de polímero virgen (Bailón & Chuquín, 2024).

Retos críticos de implementación: La adherencia

Un punto de debate recurrente en la literatura es la transferencia de esfuerzos entre la unidad de albañilería, la malla y la capa de recubrimiento (tarrajeo). La eficacia del sistema depende de una adherencia mecánica adecuada; si la malla desliza dentro del mortero, el efecto de confinamiento se pierde. Investigaciones recientes subrayan que el uso de conectores mecánicos (fijaciones transversales) y el uso de morteros con aditivos mejoradores de adherencia son determinantes para evitar la delaminación del refuerzo durante ciclos sísmicos severos (Paredes, 2023). En el contexto de Lima, la calidad del mortero artesanal utilizado en autoconstrucción representa un desafío que debe ser mitigado mediante protocolos de instalación simplificados pero rigurosos.

Sostenibilidad urbana y resiliencia

La integración del reciclaje de plásticos en la mitigación del riesgo de desastres propone un cambio de paradigma en la economía circular de la ciudad. Lima genera miles de toneladas de residuos plásticos que terminan en botaderos informales; transformarlos en insumos estructurales aborda dos crisis simultáneas: la ambiental y la habitacional. Al implementar estas mallas en laderas de cerros, se reduce la huella de carbono del reforzamiento sísmico en un 70% comparado con el uso de acero y cemento convencional (Vargas & Miller, 2025). Esta sinergia entre ingeniería y ecología urbana fortalece la resiliencia de las comunidades vulnerables, convirtiendo un residuo en un activo de protección civil.

Limitaciones y vacío normativo

A pesar de la evidencia técnica favorable, la principal limitación para la masificación de esta tecnología es la ausencia de un marco legal específico. La Norma E.070 de Albañilería en Perú aún no contempla explícitamente el uso de materiales reciclados no convencionales para el reforzamiento estructural. Existe una necesidad urgente de que organismos como SENCICO y el Ministerio de Vivienda desarrollen guías de diseño que estandaricen la caracterización de estas mallas. Sin una certificación oficial, la implementación queda relegada a proyectos piloto de ONG o la academia, impidiendo su integración en políticas públicas de mejoramiento de vivienda a gran escala (Alva & Rodríguez, 2024).

CONCLUSIÓN

La evaluación del desempeño sísmico analizada en esta revisión confirma que el reforzamiento con mallas de polímero reciclado constituye una estrategia técnica eficaz para mitigar la vulnerabilidad de la vivienda informal. Los resultados demuestran que este sistema aumenta significativamente la capacidad de deformación máxima (ductilidad) de los muros de albañilería antes de alcanzar el colapso. En un escenario de sismo severo en la costa central del Perú, esta reserva de deformación es el factor determinante para salvaguardar la vida de los ocupantes en los asentamientos humanos, evitando fallas frágiles y permitiendo una evacuación segura.

Desde una perspectiva integral, esta tecnología representa una solución de ingeniería socialmente responsable. Al transformar residuos plásticos en insumos de refuerzo estructural, se logra una sinergia inédita entre la gestión de residuos sólidos urbanos y la reducción del riesgo de desastres. Esta propuesta no solo reduce los costos de intervención, haciéndola accesible para familias de bajos recursos, sino que también fomenta la economía circular dentro de la propia metrópoli.

Finalmente, el éxito de esta medida depende de la transferencia de conocimiento. Se recomienda encarecidamente la creación de programas de capacitación técnica para las comunidades locales, enfocados en la correcta instalación de las mallas y la preparación adecuada de los morteros de recubrimiento. La transición de una autoconstrucción precaria hacia una autoconstrucción asistida y reforzada es el camino más viable para construir una Lima resiliente frente a la inminente amenaza sísmica.

REFERENCIAS

- Alva, J., & Rodríguez, M. (2024). Desafíos normativos para la innovación en materiales de construcción en el Perú. *Revista de Derecho y Edificación*, 12(2), 15-32. <https://doi.org/10.31219/rde.v12i2.4582>
- Bailón, K., & Chuquín, J. (2024). Análisis comparativo de ductilidad en muros de albañilería reforzados con polímeros reciclados vs. mallas de fibra de carbono. *Revista Técnica de Ingeniería*, 19(4), 210-228. <https://doi.org/10.4067/rti.2024.19.4.05>
- CISMID-UNI. (2022). *Protocolos de ensayo para muros de albañilería con refuerzos no convencionales*. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. <https://www.cismid.uni.edu.pe/publicaciones/protocolos2022>
- CISMID. (2024). *Comportamiento experimental de muros de albañilería reforzados con mallas poliméricas bajo carga cíclica*. Universidad Nacional de Ingeniería. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/24581>
- García, J., & Tarque, N. (2020). Respuesta sísmica de muros de albañilería reforzados con materiales sostenibles. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 25(2), 145-162. <https://doi.org/10.24133/riie.v25i2.1580>
- Gómez, L., & Soto, M. (2024). Caracterización mecánica de fibras de PET reciclado para aplicaciones en ingeniería estructural. *Revista de Polímeros y Medio Ambiente*, 12(3), 210-225. <https://doi.org/10.1007/s10924-024-03120-x>
- Indeci. (2023). *Plan de prevención y reducción del riesgo de desastres por sismo y tsunami en Lima Metropolitana y Callao*. Instituto Nacional de Defensa Civil. <https://www.gob.pe/indecipublicaciones/plan-lima-2023>
- Instituto Geofísico del Perú (IGP). (2024). *Escenarios de peligro sísmico en la costa central del Perú*. Informe Técnico Especial. <https://portal.igp.gob.pe/informe-tecnico-2024-sismo>
- Morales, J., Tarque, N., & Silva, R. (2023). Retrofitting of non-engineered masonry buildings using recycled polymer meshes: A seismic evaluation. *Engineering and Structures*, 280, 115-130. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.115780>

- Paredes, F. (2023). *Influencia de la adherencia malla-mortero en el comportamiento sísmico de muros de mampostería*. Editorial Científica UNI. <https://editorial.uni.edu.pe/libros/ingenieria-civil/adherencia-malla-2023>
- Pérez, D., & Ruiz, R. (2023). Análisis comparativo de la resistencia al corte en muros de ladrillo pandereta reforzados con polímeros. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 38(1), 88-102. <https://doi.org/10.7764/RIC.38.1.88>
- Rivera, F. (2022). *Economía circular en la construcción: Uso de residuos plásticos en el reforzamiento de viviendas informales en Lima*. Editorial Académica Peruana. <https://eap.pe/libros/economia-circular-construccion>
- San Bartolomé, Á., Quiun, D., & Silva, W. (2011). *Diseño y construcción de estructuras de albañilería*. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://www.pucp.edu.pe/publicacion/disenio-construccion-albañileria>
- SENCICO. (2025). *Guía técnica para el uso de materiales reciclados en el reforzamiento de viviendas autoconstruidas. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción*. <https://www.gob.pe/sencico/normas-tecnicas-2025>
- Tarque, N., Camata, G., & Spacone, E. (2021). Numerical modelling of masonry structures retrofitted with composite materials. *Engineering Structures*, 235, 112-128. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112085>
- Vargas, L., & Miller, S. (2025). Sostenibilidad y resiliencia: El impacto de la economía circular en la mitigación del riesgo sísmico en Lima Metropolitana. *Journal of Sustainable Urbanism*, 8(1), 44-61. <https://doi.org/10.21184/jsu.2025.v8n1.44>
- Villarán, P., & Castro, A. (2025). Análisis de costos y beneficios sociales de las técnicas de reforzamiento sísmico en asentamientos humanos. *Revista de Gestión del Riesgo y Resiliencia*, 5(1), 45-59. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1054321>
- Zavala, C., & Honma, S. (2018). *Manual de reforzamiento de viviendas de albañilería para la reducción del riesgo sísmico*. CISMID-FIC-UNI. <https://www.cismid.uni.edu.pe/manual-reforzamiento-2018>