

Revisión literaria de estrategias de reforzamiento sísmico aplicables en viviendas
informales de mampostería en Bucaramanga

Deisy Fernanda León Ardila

Iván Andrés Luque Ruiz

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingenieros Civiles
Modalidad investigación

Director

José Miguel Benjumea Royero

Ph.D. en Ingeniería Civil y Ambiental

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

*A **nuestros padres**, por ser nuestras bases fundamentales de nuestra vida, por brindar su amor infinito, por inculcarnos el amor más grande el legado del campesino, por ser el cimiento inquebrantable para luchar por nuestras metas y por esa fe que actuó como el refuerzo de acero que nos impulsaba a creer que siempre podíamos más. A **nuestros hermanos**, por ser la mezcla perfecta que da resistencia a nuestra vida, impulsada por la durabilidad de su amor y respeto, por ser testigos y compañeros en cada una de nuestras etapas. A **nuestros compañeros de vida**, por ser nuestra mayor fuente de motivación, quienes nos ayudaron a crecer como profesionales y nos abrigaban con sus palabras y abrazos, infinitas gracias. A **nuestros compañeros de carrera**, A nuestros compañeros de formación, gracias por caminar junto a nosotros durante esta etapa universitaria, compartiendo retos, aprendizajes, compañía, amistad y sobre todo experiencias que permanecerán como parte importante de nuestra vida personal y profesional. A **nuestros amigos incondicionales de cuatro patas**, por llegar a nuestra vida y completar la geometría perfecta de nuestra familia. Finalmente podemos decir ¡¡Lo logramos!! Aquello que parecía lejano hoy se materializa ante nuestros ojos; Sabemos que estamos hechos para grandes cosas, y deseamos de corazón que este logro sea solo el primer capítulo de una historia llena de éxitos compartidos.*

Deisy Fernanda León Ardila

Iván Andrés Luque Ruiz

Agradecimientos

A la **Universidad Industrial de Santander**, por su compromiso con la formación académica basada en la excelencia y la calidad educativa, fundamentales en nuestra preparación para afrontar desafíos futuros.

A la **Escuela de Ingeniería civil**, por ser el entorno académico donde fortalecimos nuestras competencias técnicas y desarrollamos nuestra sentido más profesional y humano como ingenieros.

Al **profesor José Benjumea**, por su compromiso con la formación profesional. Le agradecemos sinceramente por compartir sus conocimientos, por su acompañamiento constante y por ser una guía significativa en nuestra formación personal, académica y profesional.

Tabla de Contenido

| | Pág. |
|--|-------------|
| Introducción | 12 |
| 1. Objetivos | 15 |
| 1.1 Objetivo General | 15 |
| 1.2 Objetivos Específicos | 15 |
| 2. Metodología | 16 |
| 2.1 Fase I. Análisis y selección de parámetros constructivos y características estructurales..... | 16 |
| 2.2 Fase II. Identificación de estrategias de mejoramiento estructural | 16 |
| 2.2.1 Extracción y gestión de los datos | 18 |
| 2.2.2 Síntesis y análisis de datos | 19 |
| 2.2 Fase III. Verificación del cumplimiento de acuerdo con la normativa vigente | 22 |
| 3. Resultados | 22 |
| 3.1. Análisis y selección de parámetros constructivos y características estructurales ... | 22 |
| 3.1.1 Sistemas estructurales | 27 |
| 3.1.2 Materiales y calidad constructiva..... | 28 |
| 3.1.3 Cimentaciones y contacto con el terreno..... | 29 |
| 3.1.4 Cubiertas y ampliaciones | 29 |
| 3.1.5 Vulnerabilidad sísmica y otros riesgos..... | 30 |
| 3.2. Selección de estrategias de reforzamiento estructural..... | 30 |

| | |
|--|----|
| 3.3 Verificación del cumplimiento de acuerdo con la normativa vigente..... | 39 |
| 4. Conclusiones | 44 |
| Propuestas a futuro | 46 |
| Referencias Bibliográficas | 47 |
| Apéndices | 59 |

Lista de Tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Criterios y porcentajes de evaluación..... | 19 |
| Tabla 2. Criterios de clasificación para la evaluación de estrategias de reforzamiento | 20 |
| Tabla 3. Parámetros constructivos y características estructurales de viviendas informales en Bucaramanga | 25 |
| Tabla 4. Frecuencia de mención de las estrategias en los artículos seleccionados. | 33 |
| Tabla 5. Estrategias con mayor puntaje..... | 36 |
| Tabla 6. Verificación cumplimiento de estrategias en base a la NSR-10. | 40 |

Lista de Figuras

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1 Número de artículos filtrados por etapas | 17 |
| Figura 2 Comunas de Bucaramanga (Alcaldía). | 24 |
| Figura 3 Vivienda en asentamiento informal Altos del Progreso. | 27 |
| Figura 4 Materiales utilizados en la construcción de viviendas informales: a) Barrio Cristal Bajo. b) Asentamiento Rincón de la paz. | 28 |
| Figura 5 Crecimiento anual en la muestra de artículos seleccionados..... | 31 |
| Figura 6 Número de publicaciones por país..... | 32 |
| Figura 7 Estrategias de reforzamiento seleccionadas a). Reforzamiento con malla de polipropileno, b) Reforzamiento con yeso y cemento, c) Reforzamiento con anclajes horizontales, d) Reforzamiento con fibras naturales, e) Reforzamiento con ferrocemento. | 38 |

Lista de Apéndices

| | |
|---|----|
| Apéndice A. Cadenas de búsqueda..... | 59 |
| Apéndice B. Datos de parámetros constructivos y características estructurales. | 60 |
| Apéndice C. Evaluación de estrategias de reforzamiento. | 62 |
| Apéndice D. Evaluación del impacto ambiental sobre las estrategias de reforzamiento utilizando la IA..... | 67 |

Resumen

Título: Revisión literaria de estrategias de reforzamiento sísmico aplicables en viviendas informales de mampostería en Bucaramanga.*

Autor: Deisy Fernanda León Ardila, Iván Andrés Luque Ruiz.**

Palabras Clave: Estrategias de mejora, mampostería reforzada, muros de mampostería, sostenibilidad, viviendas informales.

Descripción: El presente trabajo desarrolla una revisión bibliográfica enfocada en estrategias de reforzamiento aplicables a viviendas informales de mampostería en la ciudad de Bucaramanga, la cual se caracteriza por presentar una alta amenaza sísmica y un crecimiento significativo de asentamientos informales en su periferia. A partir de la recopilación de información presente en diferentes bases de datos y literatura gris, se analizaron las principales características constructivas presentes en este tipo de viviendas, identificando deficiencias recurrentes, como el uso de materiales de baja calidad, estructuras irregulares, cimentaciones inadecuadas y ampliaciones sin ningún tipo de control técnico. Posteriormente, se identificaron en la base de datos Scopus, artículos con diversas estrategias de reforzamiento empleadas en contextos similares a nivel internacional, de las cuales se seleccionaron cinco estrategias promisorias (mallas de polipropileno, ferrocemento, anclaje horizontal, recubrimiento con yeso y cemento y fibras naturales), a las cuales se les realizó un análisis enfocado en su desempeño estructural, economía, complejidad constructiva e impacto ambiental. Finalmente, se realizó una verificación del cumplimiento normativo de estas estrategias con los lineamientos establecidos por la NSR-10, evidenciando su potencial como alternativas de solución viables para la reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería, aportando criterios técnicos para su implementación en contextos urbanos similares.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Ph. D José Miguel Benjumea Royero.

Abstract

Title: Literature review of seismic retrofitting strategies applicable to informal masonry housing in Bucaramanga.*

Author: Deisy Fernanda León Ardila, Iván Andrés Luque Ruiz.**

Key Words: Improvement strategies, reinforced masonry, masonry walls, sustainability, informal housing.

Description: This study presents a literature review focused on reinforcement strategies applicable to informal masonry housing in the city of Bucaramanga, which is characterized by a high seismic risk and significant growth of informal settlements on its outskirts. Based on information gathered from various databases and gray literature, the main construction characteristics of this type of housing were analyzed, identifying recurring deficiencies such as the use of low-quality materials, irregular structures, inadequate foundations, and extensions carried out without any technical oversight. Subsequently, articles were identified in the Scopus database describing various reinforcement strategies employed in similar contexts internationally, from which five promising strategies were selected (polypropylene mesh, ferrocement, horizontal anchoring, plaster and cement coating, and natural fibers), which were analyzed with a focus on their structural performance, cost-effectiveness, construction complexity, and environmental impact. Finally, a review was conducted to verify the compliance of these strategies with the guidelines established by NSR-10, demonstrating their potential as viable solutions for reducing seismic vulnerability in masonry homes and providing technical criteria for their implementation in similar urban settings.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Ph. D José Miguel Benjumea Royero.

Reconocimiento de uso de inteligencia artificial

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se utilizaron herramientas de inteligencia artificial como apoyo metodológico y de redacción. En particular, se empleó QuillBot (QuillBot, s. f.), Grammarly (Grammarly, 2026), ChatGPT (OpenAI, 2026), su uso contribuyó a mejorar la redacción, contribuyendo a dar estructuración de ideas y corrección gramatical del texto, sin alterar el contenido técnico ni el aporte intelectual propio de los autores.

El uso de estas herramientas se realizó de manera responsable y manteniendo la ética profesional que requiere este tipo de investigaciones, manteniendo en todo momento el análisis crítico y la toma de decisiones a cargo de los investigadores.

Introducción

El acelerado crecimiento de las ciudades en Latinoamérica ha generado una alta ocupación y expansión sin planeación de los territorios, lo que causa que las ciudades se dividan en dos, la formal y la informal (Torres-Parra et al., 2020). El crecimiento poblacional es una de las causas principales de la construcción informal, ya que la demanda de vivienda formal no siempre puede satisfacerse con la velocidad del crecimiento económico y social (Gomez, 2022).

En Colombia, más del 50% del crecimiento de las ciudades y municipios tiene un origen informal (Minvivienda, 2018). La informalidad implica dos formas de transgresión: la falta de títulos de propiedad y el incumplimiento de las normativas, uso, ocupación y prácticas adecuadas de construcción (Clichevsky, 2009). Estos asentamientos se ubican principalmente en las periferias urbanas, convirtiéndolos en focos de vulnerabilidad social y alejándolos del logro del desarrollo sostenible y resiliente de las ciudades.

De acuerdo con la Encuesta de Calidad de Vida (ECV) de 2021, el DANE indica que el déficit cualitativo de vivienda en el país (el cual representa las deficiencias de calidad de las viviendas existentes), alcanza el 23.5%, equivalente a 3.977.000 hogares (DANE, 2021). Pese a los avances dirigidos a reducir esta problemática, del año 2021 al 2024 solo se logró una disminución de un punto porcentual, lo que evidencia la necesidad de un esfuerzo adicional.

En Bucaramanga, el crecimiento poblacional promedio anual en los últimos años es de 0.4%, pero podría llegar a 1.07% en el año 2050, debido principalmente a la migración de desplazados (DNP, 2018). Además, el 10% de los sectores de la ciudad presenta un déficit habitacional superior al 83.41% (DANE, 2018). Sumado a esto, Bucaramanga es una zona con

amenaza sísmica alta por su cercanía a fallas activas y al nido sísmico que genera aproximadamente el 60% de la actividad sísmica de Colombia (Universidad de Santander, 2023).

La construcción informal en una ciudad con alta actividad sísmica conlleva diferentes problemáticas como la ausencia de diseño, uso de materiales inadecuados o de mala calidad, errores constructivos, impacto social y económico (Durán Aguirre & Tarazona Gómez, 2014). Los diagnósticos locales e instrumentos de política (Política Pública de Vivienda y Hábitat de Bucaramanga) reconocen la precariedad en habitabilidad, servicios y condición de riesgo en barrios informales.

En Bucaramanga, la tasa de informalidad constructiva se estima en aproximadamente 59% (SOCIAL, 2013). Un muestreo realizado por la CDMB* en el año 2005 a 100 viviendas, tanto formales como informales, reveló que están construidas con mampostería sin confinar, se evidenció que el 44% son mampostería parcialmente confinada, mientras que el 8% son de mampostería confinada (Rondón & Cho, 2005). Esta realidad evidencia la urgencia de investigar estrategias de reforzamiento estructural que sean técnica y económicamente viables para este contexto urbano. Así, con este trabajo de grado se busca responder, mediante una revisión bibliográfica, la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué estrategias de mejoramiento estructural para viviendas de mampostería informales podrían ser efectivas en la ciudad de Bucaramanga?

Este trabajo busca generar un aporte técnico y contextualizado de cinco estrategias de reforzamiento estructural en viviendas informales de mampostería, considerando su aplicabilidad

* CDMB (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga)

en la ciudad de Bucaramanga bajo criterios de sostenibilidad económica y social, cumpliendo con los lineamientos establecidos en la NSR-10.

A continuación, en la sección 1 se presenta el objetivo general y los específicos que guían la investigación, en la sección 2 se describe la Metodología, estructurada en tres fases: Análisis y selección de parámetros constructivos y características estructurales, Identificación de estrategias de reforzamiento estructural y la verificación del cumplimiento con la normativa vigente. En la sección 3 se presentan los resultados, que abarcan dos revisiones bibliográficas, el análisis y la selección de las estrategias más promisorias para este proyecto. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones, donde se incorporan los resultados obtenidos con los objetivos planteados para este proyecto.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Definir, mediante análisis bibliográfico, algunas estrategias de mejoramiento estructural aplicables a viviendas informales de mampostería en Bucaramanga

1.2 Objetivos Específicos

Revisar las tendencias constructivas y características estructurales utilizados en viviendas informales de mampostería en Bucaramanga.

Identificar estrategias aplicables de mejoramiento estructural en viviendas de mampostería en países en desarrollo, considerando aspectos de sostenibilidad económica y social.

Verificar el alineamiento de las estrategias de mejoramiento más prometedoras con los lineamientos de la NSR-10.

2. Metodología

2.1 Fase I. Análisis y selección de parámetros constructivos y características estructurales

Se recopiló información sobre los principales parámetros constructivos y características estructurales de viviendas informales de la ciudad de Bucaramanga. La búsqueda se realizó en la base de datos Scopus, cuyo acceso es suministrado por la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander. Además, se buscó literatura gris en bases de datos de acceso abierto como Semantic Scholar, Google Scholar y repositorios abiertos de universidades. Se limitó la búsqueda a documentos de acceso abierto, publicados en los últimos diez años en idioma inglés y español.

De los documentos encontrados se extrajeron los siguientes datos:

- Parámetros y tipologías constructivas, características estructurales y topológicas, materiales y número de pisos de viviendas informales en Bucaramanga.
- Información referente a las publicaciones analizadas (autores, universidades, fechas de publicación, revistas, etc.).

Con base en los resultados obtenidos, la información fue organizada y sistematizada mediante herramientas ofimáticas (Excel), lo que permitió facilitar su análisis, mejorar la claridad en la interpretación de los datos y establecer respuestas para las fases posteriores.

2.2 Fase II. Identificación de estrategias de mejoramiento estructural

Con la información encontrada en la Fase I, se seleccionó la tipología estructural más usada en Bucaramanga (Mampostería no reforzada) en construcciones informales. Posteriormente, se realizó la búsqueda en la base de datos Scopus, que se enfocó en artículos en idioma inglés y

español, publicados en los últimos diez años. Se planteó una ecuación de búsqueda inicial, de la cual se obtuvo un total de 162 artículos y se definió de la siguiente manera:

```
TITLE-ABS-KEY(( " REINFORCED MASONRY" OR "reinforcement" OR "strengthening" OR "repair" OR "rehabilitation" ) AND ( "MASONRY WALLS" ) AND ( "INFORMAL HOUSING" OR "informal construction" OR "developing countries" ) AND ( "IMPROVEMENT STRATEGIES" OR "techniques" ) AND ( SUSTAINABLE OR "low cost" OR "economic" ))
```

Posteriormente, se realizó una cadena de búsqueda más específica, limitando la búsqueda inicial a artículos de investigación en revistas científicas (Journals), ponencias o comunicaciones en congresos, en un periodo de 10 años y se excluyeron las publicaciones no disponibles en texto completo. De esta búsqueda se extrajeron 104 artículos como se presenta en el Apéndice A. Posteriormente se realizó el filtrado de los documentos la cual se realizó en dos etapas (Fig. 1):

Figura 1 Número de artículos filtrados por etapas.



Nota: Ilustra el proceso secuencial de depuración de la información científica, desde la búsqueda inicial hasta la selección final de los documentos relevantes para el estudio.

- **Filtro por título y resumen**

Se excluyeron artículos cuyos títulos no tuvieran un enfoque claro para esta investigación o hicieran referencia a algún otro sistema estructural al seleccionado. De igual manera se descartaron los artículos a los cuales no se pueda acceder por medio de la Biblioteca UIS. Posteriormente, se pasó al filtrado por resumen donde cada artículo debía hacer mención clara de alguna estrategia de reforzamiento o enfoque similar.

- **Filtro por contenido**

El artículo debía explicar de forma clara y con detalle la metodología aplicada y el enfoque principal de las estrategias de refuerzo, con resultados que respalden la aplicación de estas.

2.2.1 Extracción y gestión de los datos

Los 36 artículos obtenidos luego del filtrado fueron revisados detalladamente, con el fin de extraer la información requerida y de aporte para este proyecto, tal como:

- Tipo de estrategia trabajada, materiales, ensayos aplicados, el costo promedio para realizar el reforzamiento.
- La complejidad constructiva, basándose en la capacidad de adquisición de los materiales.
- El desempeño sísmico, junto a su porcentaje de mejoramiento respecto de una solución de referencia.
- Ventajas y desventajas generadas en la construcción de estas estrategias.

- Análisis de desempeño estructural (Resistencia a la compresión, tracción, cortante y capacidad de deformarse) posterior a la aplicación reforzamientos y el impacto socioeconómico del mismo.

Para procesar y generar un mejor manejo de la información se creó una tabla guía en Microsoft Excel.

2.2.2 Síntesis y análisis de datos

A partir de la información recopilada, se consolidó una tabla de estrategias de reforzamiento, evaluadas mediante cuatro criterios con su respectivo porcentaje (Tabla 1), lo que permitió seleccionar cinco estrategias con el mayor puntaje, cuya aplicabilidad se analizó según la NSR-10 en la Fase III.

Tabla 1 Criterios y porcentajes de evaluación.

| | |
|--------------------------|-----|
| Costo | 30% |
| Complejidad Constructiva | 20% |
| Impacto Ambiental | 20% |
| Desempeño Estructural | 30% |

Nota: Se priorizan costo y desempeño estructural por ser los factores determinantes para la viabilidad de implementación en contextos de vivienda informal. Fuente: Elaboración propia.

Se otorgó mayor relevancia al costo y al desempeño estructural, dado que, en el contexto de las viviendas informales, la relación costo-desempeño resulta determinante para la implementación de estrategias de reforzamiento. Este enfoque se definió desde una perspectiva que prioriza a los propietarios de las viviendas, quienes en escenarios de autoconstrucción y con limitado acceso a acompañamiento técnico o institucional, deben tomar decisiones en función de sus recursos disponibles. En este sentido, no solo se priorizó la asequibilidad económica, sino

también la viabilidad práctica de las soluciones, considerando aspectos como la disponibilidad de materiales, la facilidad constructiva y la reducida necesidad de mano de obra especializada.

Para la evaluación del costo, se establecieron categorías cualitativas (alto, medio y bajo) según estándares económicos (Tabla 2). Esta clasificación se realizó considerando la accesibilidad de los materiales, la mano de obra, los equipos y herramientas, el transporte y las intervenciones previas requeridas para la ejecución de cada tipo de reforzamiento en Colombia.

Tabla 2. Criterios de clasificación para la evaluación de estrategias de reforzamiento

| Criterios | Valor numérico | Categoría | Descripción |
|--|-----------------------|------------------|---|
| Costo de materiales y mano de obra | 1 | Alto | Materiales de alto costo y mano de obra especializada |
| | 2 | Moderado | Materiales accesibles y mano de obra con conocimiento |
| | 3 | Bajo | Materiales de bajo costo y mano de obra simple |
| Clasificación de complejidad constructiva | 1 | Especializado | Mano de obra especializada, uso de equipos de alto costo y materiales de plantas o industriales |
| | 2 | Moderado | Mano de obra con conocimiento, uso de maquinaria y herramientas con mayor complejidad |
| | 3 | Simple | Mínimo conocimiento técnico y uso de herramientas básicas |
| Desempeño estructural | 0 | No Referenciado | No se menciona |
| | 1 | Baja | Menor al 10% |
| | 2 | Media | Entre 10% y 20% |
| | 3 | Alta | Mayor al 20% |
| Impacto ambiental | 1 | Alto | Mayor cantidad de uso de recursos |
| | 2 | Moderado | Moderado uso de recursos |
| | 3 | Bajo | Menor uso de recursos utilizados |

Nota: Escala de valoración diseñada para estandarizar la comparación objetiva entre distintas alternativas de refuerzo estructural. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la complejidad constructiva, se consideraron los criterios definidos en la Tabla 2, a los cuales se les asignó una valoración numérica de 1 a 3, donde 3 indica una complejidad constructiva simple, lo que implica un mayor aporte al cumplimiento de los objetivos del proyecto. El impacto ambiental se evaluó considerando el uso de recursos; para ello se realizó un análisis teniendo en cuenta las consideraciones descritas en los artículos, como, por ejemplo, el empleo de madera, que es un material de bajo impacto ambiental que facilita la implementación de soluciones sostenibles para el diseño y rehabilitación de edificios existentes (Tsiavos & Oswald, 2025).

Sin embargo, en algunos casos no se encontró la información completa o cuantitativa para todos los tipos de reforzamientos en relación con el impacto que genera al ambiente. Por lo tanto, se decidió optar con el apoyo del uso de herramientas de inteligencia artificial como ChatGPT (OpenAI, 2026), y QuillBot (QuillBot, s. f.). Mediante una pregunta estratégica, detallada en el en el Apéndice D, estas herramientas facilitaron una evaluación más completa de los criterios de impacto ambiental.

El desempeño estructural fue analizado a partir de los porcentajes de mejora reportados de los artículos para la resistencia a la compresión, tracción y cortante, así como la capacidad de deformación, de acuerdo con lo establecido en la Tabla 2; Posteriormente se calculó un promedio de estos cuatro criterios. Finalmente, se obtuvo un valor global mediante la multiplicación de los resultados obtenidos por los porcentajes de evaluación definidos en la Tabla 1.

2.2 Fase III. Verificación del cumplimiento de acuerdo con la normativa vigente

Las estrategias de mejoramiento seleccionados como prometedoras se revisaron a la luz de la normativa vigente para la construcción en Colombia (NSR-10). Para ello, se empleó el título D de la norma (Mampostería estructural), específicamente los capítulos D.4, D.6 y D.12, correspondientes a requisitos constructivos para mampostería estructural, mampostería de cavidad reforzada y mampostería reforzadas externamente.

A partir de esta revisión, se consideraron los requisitos mínimos que deben cumplir estas estrategias para cumplir a cabalidad con lo establecido en la norma. Esto resulta relevante debido a que, en la actualidad, no existe en el país una normativa específica para la evaluación de reforzamientos externos en viviendas de mampostería reforzada. Posteriormente, se analizaron los artículos que respaldan estas estrategias de mejoramiento, con el fin de verificar su cumplimiento frente a los requisitos mínimos exigidos.

3. Resultados

3.1. Análisis y selección de parámetros constructivos y características estructurales

En Bucaramanga, se estima que alrededor de 173.96 hectáreas de suelo urbano y 78.66 hectáreas de suelo rural están ocupadas por asentamientos humanos, distribuidos en 11 de las 17 comunas. La mayor concentración de estas ocupaciones se localiza al norte (comunas 1 Norte y 2 Nororiental), en los escarpes occidentales (comunas 4 y 5 García Rovira), en la zona oriental (comuna 14 Morrórico) y al sur de la ciudad (comunas 8 Sur occidente, 10 Provenza y 11 Sur) (Alcaldía de Bucaramanga, 2014). Esta ocupación responde a procesos de urbanización informal,

donde la ausencia de planeación y control urbanístico conlleva la construcción de viviendas informales con materiales precarios y sin condiciones técnicas adecuadas (Rocha et al., 2006).

La vivienda informal en Bucaramanga ha mostrado expansión en zonas periurbanas y en torno a cuerpos de agua y áreas de riesgo, lo que condiciona su seguridad y la calidad de la cimentación (Durán Aguirre & Tarazona Gómez, 2014). Al ubicarse en áreas de ladera y de alto riesgo, estas viviendas reflejan una marcada fragilidad estructural y social, pues además de su vulnerabilidad frente a deslizamientos o fallas en la infraestructura, también se enfrentan a limitaciones en el acceso a servicios básicos y a condiciones de habitabilidad que no son dignas (Durán Aguirre & Tarazona Gómez, 2014). Estudios de vulnerabilidad estructural aplicados a viviendas informales de la ciudad ((Bracho Tovar, Carlos Eduardo, 2008; Durán Aguirre & Tarazona Gómez, 2014.; Rocha et al., 2006)), muestran repetidamente problemas como la baja calidad de los materiales, cimentaciones someras y conexiones deficientes que elevan riesgo.

Figura 2 Comunas de Bucaramanga (Alcaldía).

Nota: Muestra la división político-administrativa de la ciudad, destacando las zonas con mayor presencia de asentamientos informales. Fuente: (Alcaldía de Bucaramanga, 2020).

En la Tabla 3 se presenta el resumen de los parámetros constructivos y características estructurales encontradas a partir de la revisión de la literatura, mientras que en el Apéndice B se detalla la información de las publicaciones. Cabe resaltar que al tratarse de viviendas informales la información es limitada, en su mayoría en aspectos cualitativos y cuantitativos. A continuación, se describen los factores más relevantes para la investigación.

Tabla 3. Parámetros constructivos y características estructurales de viviendas informales en Bucaramanga

| Tipología estructural | Materiales | Características de las estructuras | Características topológicas | Número de pisos | Observaciones | Ref. |
|---|---|---|--|------------------------|--|---|
| Mampostería confinada y sin confinar | Ladrillo de arcilla, concreto | Infraestructura precaria, diseños rígidos inflexibles | Presencia de cuerpo de agua que bordea el barrio, con gaviones usados para controlar erosión. Viviendas ubicadas en zonas de talud | 1 a 4 | Hacinamiento de las viviendas autoconstruidas y ampliaciones de los edificios | (Quintero González, 2022) |
| Mampostería confinada, muros de tapia pisada, madera | Ladrillo de arcilla, concreto, bloque de concreto, tapia, adobe, tejas de zinc, Eternit, teja de barro, machimbre | Agrietamiento y humedad de los muros, cableado eléctrico expuesto | Viviendas construidas sobre taludes y apoyadas sobre rocas | 1 a 3 | Cimentaciones poco profundas o superficiales | (Durán Aguirre & Tarazona Gómez, 2014) |
| Mampostería sin confinar, pórtico, madera | Ladrillo de arcilla, concreto, bloque de concreto, tejas de zinc, madera | Materiales usados de baja calidad, madera vieja y zinc oxidado | Viviendas construidas sobre escarpa, terreno inestable que corresponde a zona de protección | 1 a 3 | Viviendas en riesgo de remoción de masa e inundación | (Herrera Manrique, s. f.) |
| Mampostería (confinada y no confinada), madera | Cartón, madera, plástico, ladrillo de arcilla, concreto | Materiales usados de baja calidad | Terrenos con fallas geológicas, erosión extrema o un alto riesgo de inundación | 1 a 2 | Del total de edificaciones, únicamente en el 60 % de los casos el constructor cuenta con experiencia previa en actividades constructivas | (Caballero Moreno et al., 2019) |
| Pórtico (vigas y columnas) | Perfiles metálicos, concreto, plásticos, ladrillo de arcilla, teja de zinc, teja metálica, | Generalmente las columnas son postes de madera conectados por lazos y pernos. Cimentación superficial | - | 1 a 3 | El sistema estructural es apropiado; sin embargo, los materiales no son aptos y tienden a deteriorarse por efectos ambientales | (Cadena Cadena, Christian Camilo, 2018) |

| | | | | | | |
|--|---|--|--|-------------|---|---------------------------------------|
| Mampostería (confinada y no confinada), adobe, tapia pisada, hormigón, acero, otros | Ladrillo de arcilla, concreto, cemento, adobe, tapia | - | - | - | - | (Bracho Tovar, Carlos Eduardo, 2008) |
| Mampostería y muro de adobe | Adobe, tapia pisada, ladrillo de arcilla, concreto | - | - | - | Estructuras antiguas de adobe son poco resistentes a eventos sísmicos | (Navarro García, Oscar Andrés, s. f.) |
| Mampostería confinada, mampostería reforzada con forjados de losa maciza | Tablas, plásticos, cartón, ladrillo de arcilla, bloque de concreto, concreto, tejas de asbesto y zinc | Edificaciones con graves deficiencias estructurales muy vulnerables a las acciones sísmicas | Suelos con fallas geológicas, zonas afectadas por erosión o riesgo de inundaciones | 1 a 2 | El INVISBU concluye que: para construir nuevos proyectos de vivienda de bajo costo, sólo el 5.3% son aptas para la construcción | (Caballero Moreno, 2014) |
| Mampostería confinada | - | El 56.68% de los predios presentan vulnerabilidad alta, generada por procesos de autoconstrucción. | Zonas de ladera, riesgo de erosión/socavaciones e inundación | 1 a 5 pisos | De acuerdo con la intensidad del evento crítico de amenaza, las estructuras podrían presentar colapso parcial o total, con rotura de muros o destrucción total. | (Alcaldía de Bucaramanga, 2023). |
| Otros | Plástico, cartón, madera | Estructuras no resistentes a afectaciones climáticas y movimientos sísmicos | Zona de ladera, alrededor de la quebrada Chimita. Erosión que ha generado socavación | 1 piso | Alto riesgo por inundación o deslizamiento por remoción en masa | (Ramírez Ortiz, 2015) |

Nota: Resumen consolidado de características técnicas, materiales y ubicación geográfica de las viviendas informales en la ciudad, basado en fuentes locales. Fuente: Elaboración propia.

3.1.1 Sistemas estructurales

Los sistemas estructurales que más predominan en las viviendas informales de Bucaramanga son de mampostería no reforzada y, en algunos casos, mampostería confinada con ejecución parcial o deficiente (Figura 3) (Caballero Moreno et al., 2019; Durán Aguirre & Tarazona Gómez, 2014; Quintero González, 2022). Se evidencian ausencias de elementos estructurales adecuados, uniones débiles y refuerzos improvisados (Cadena Cadena, Christian Camilo, 2018; Quintero González, 2022). Estas deficiencias generan modos de falla típicos: vuelco de muros, grietas por cortante y pérdida de continuidad estructural durante eventos sísmicos (López Restrepo, 2013; Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2023). La falta de conexiones rígidas es uno de los principales determinantes de daño de viviendas informales en sismos (Anturi Almario & Vasquez Serrato, 2024; Borrero Castellanos & Mejía Camacho, 2013).

Figura 3 Vivienda en asentamiento informal Altos del Progreso.



Nota: Ejemplo representativo de la construcción informal, donde se observan deficiencias en el sistema estructural y la calidad de los materiales. Fuente: Durán Aguirre & Tarazona Gómez, (2014).

3.1.2 Materiales y calidad constructiva

Generalmente, las viviendas informales de Bucaramanga se edifican con materiales de fácil acceso: bloque o ladrillo económico (a menudo mampostería no reforzada), listones de madera, láminas metálicas o plástico en cubiertas y remiendos con materiales heterogéneos (Tabla 5). Estas alternativas responden a costos, disponibilidad y proceso de autoconstrucción, pero implican baja capacidad resistente y problemas a nivel estructural de las viviendas (Caballero et al., 2019), (Alcaldía de Bucaramanga, 2022). En la Figura 4 se contrastan los diferentes tipos de materiales que se utilizan en viviendas informales en Bucaramanga, de acuerdo con la precariedad de la zona donde se construya y de las condiciones socioeconómicas de los habitantes.

Figura 4 Materiales utilizados en la construcción de viviendas informales: a) Barrio Cristal Bajo. b) Asentamiento Rincón de la paz.



Nota: Muestra la variedad y heterogeneidad de materiales empleados, característicos de la autoconstrucción progresiva sin control técnico. Fuente: Quintero González, (2022), Ramírez Ortiz, (2015).

3.1.3 Cimentaciones y contacto con el terreno

Es común encontrar cimentaciones someras o inexistentes en viviendas informales (especialmente en ampliaciones sucesivas). Según Cadena, Camilo, (2018) y Durán Aguirre & Tarazona Gómez (2014) se han detectado zapatas poco profundas o apoyo directo de los muros sobre rellenos. La ubicación de asentamientos en laderas como en la comuna 14 Morrórico, cercanía a cuerpos de agua como Rio de Oro que hace parte de la comuna 1 Norte, lo cual agrava la precariedad de las cimentaciones (Alcaldía de Bucaramanga, 2023; Caballero Moreno, 2014). Esto reduce la capacidad de transmisión de cargas y aumenta la susceptibilidad ante asentamientos diferenciales y acciones sísmicas (Bao et al., 2019).

3.1.4 Cubiertas y ampliaciones

Las cubiertas suelen ser láminas metálicas o plástico apoyados en cerchas o viguetas de madera o perfiles metálicos (Caballero Moreno, 2014; Durán Aguirre & Tarazona Gómez, 2014; Herrera Manrique, s. f.); las ampliaciones en altura (construcción de nuevos pisos, elevación de muros) se realizan sin evaluación y sin reforzamiento estructural dada la necesidad. De igual manera, no se efectúa de manera adecuada la continuidad de elementos verticales (Fig. 3), afectando la rigidez y eficiencia estructural de la edificación (Alcaldía de Bucaramanga, 2023; Quintero González, 2022). Esto genera irregularidades estructurales y sobrecargas adicionales sobre columnas, muros y demás elementos existentes. La construcción para el incremento del número de pisos de las edificaciones explica las posibles heterogeneidades internas en el sistema

estructural de cada una de las estructuras, generando poca previsibilidad del comportamiento general de la vivienda (Lallemant et al., 2017).

3.1.5 Vulnerabilidad sísmica y otros riesgos

En los asentamientos informales de la ciudad de Bucaramanga, al ser casas construidas sin aprobación o supervisión de algún experto en el ámbito de la construcción, estas estructuras no cumplen con criterios básicos de sismorresistencia. Por ejemplo, existe falta de confinamiento en muros, ausencia de juntas de dilatación entre estructuras, déficit de acero en elementos principales tipo viga-columna, nodos deficientes o frágiles, cimentaciones inadecuadas o ausencia de estas, uso de elementos de contención en terrenos inclinados (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2023). La combinación de suelos alterados (rellenos, laderas) y materiales de baja calidad, produce altos índices de vulnerabilidad estructural frente a sismos y movimientos en masa.

Los problemas estructurales observados obedecen tanto a factores técnicos (falta de diseño, materiales insuficientes y de buena calidad, ausencia de supervisión profesional en la construcción) como socioeconómicos (limitaciones de ingreso, indebida legalidad del suelo donde se está construyendo).

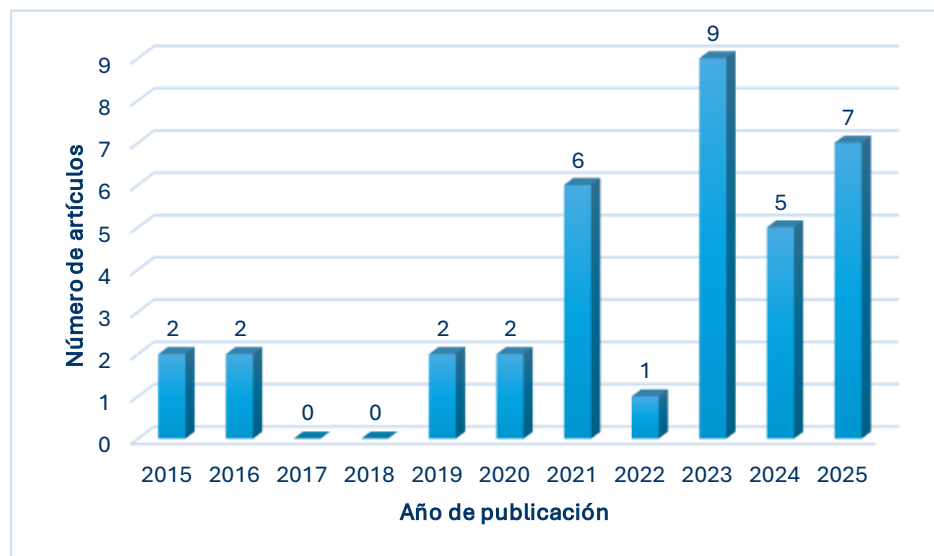
3.2. Selección de estrategias de reforzamiento estructural

Frente a las condiciones estructurales de las viviendas informales de Bucaramanga, se revisaron soluciones aplicables para su mejoramiento estructural considerando países en desarrollo que presenten viviendas informales en zonas de amenaza sísmica intermedia o alta. Por ejemplo, el estudio realizado por Syiemiong & Marthong, (2021), presentó soluciones de mejoramiento para estructuras de mampostería mediante el confinamiento y el refuerzo con

diversas estrategias como barras pasadoras, dentado, pañete de yeso, confinamiento con cáscara inyectada y malla de alambre, las cuales permiten aumentar la ductilidad, la resistencia al corte y la capacidad de deformación y de disipar energía de las estructuras de mampostería.

El avance científico investigativo en el área de reforzamiento estructural de edificaciones, realizado los últimos 10 años (2015-2025) evidencia una tendencia de crecimiento marcada a partir de 2020 (Fig. 5). El aumento de las investigaciones refleja un interés fundamental en abordar el déficit estructural presente en muchas viviendas informales. La investigación se centró en países en desarrollo o con una gran presencia de viviendas construidas de manera informal (Fig. 6). De acuerdo con los resultados se observa que aproximadamente el 62 % de las investigaciones se centró en Asia.

Figura 5 Crecimiento anual en la muestra de artículos seleccionados.



Nota: Muestra el crecimiento anual en un rango de 10 años (2015-2025) del interés científico en el tema, evidenciando el incremento de publicaciones en la última década. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Número de publicaciones por país.

Nota: Distribución geográfica de los estudios analizados, destacando la experiencia acumulada en regiones con problemáticas similares. Fuente: Elaboración propia.

En la literatura revisada se identifican diferencias en las estrategias de reforzamiento entre países latinoamericanos y asiáticos, asociadas a la disponibilidad de materiales, a las prácticas constructivas locales y al nivel de tecnificación. En Latinoamérica, se observa una tendencia hacia soluciones de bajo costo y fácil implementación, como el uso de malla electrosoldada, lechadas reforzadas con acero y recubrimientos con yeso-cemento, tal como lo evidencia el estudio de Tarque et al., (2019) en Perú.

Por su parte, en algunos países asiáticos se reporta el uso de estrategias más tecnificadas, como bandas de polipropileno y compuestos tipo FRP y CFRP, evaluadas en estudios como el de S. M. Umair et al., (2015) en Pakistán, las cuales implican una mayor complejidad constructiva y mayor uso de recursos económicos y requerimientos técnicos.

Estas diferencias evidencian que la selección de estrategias de reforzamiento no depende únicamente de su desempeño estructural, sino que está fuertemente condicionada por el contexto local, incluyendo factores económicos, técnicos y culturales.

Dentro de los 36 artículos científicos, se evidenció que 10 emplearon fibras sintéticas de polipropileno, seguida del ferrocemento como una de las opciones más empleadas. La Tabla 4 muestra el número de veces que son mencionadas las estrategias de reforzamiento en los artículos analizados.

Tabla 4. Frecuencia de mención de las estrategias en los artículos seleccionados.

| Tipo de estrategia | Cantidad |
|--|-----------------|
| Ferrocemento | 5 |
| Fibras sintéticas (polipropileno) | 5 |
| Fibras sintéticas (banda de polipropileno) | 4 |
| Malla de acero | 3 |
| Anclaje horizontal | 2 |
| Férulas y vendajes | 2 |
| Lechada reforzada con acero | 2 |
| Polímeros reforzados con fibra (FRP) | 2 |
| Polímeros reforzados con fibras | 1 |
| Aislador de mortero de arena gruesa | 1 |
| Aisladores elastoméricos con fibras de caucho (FREI) | 1 |
| Amortiguadores de resorte | 1 |
| Bambú | 1 |
| Bambú + malla de acero | 1 |
| Banda de acero | 1 |
| Cojines elastoméricos | 1 |
| Ferrocemento + compuestos cementicios | 1 |
| fibras de carbono | 1 |
| Fibras de caucho | 1 |
| Fibras de lino + exoesqueleto de madera | 1 |
| Fibras naturales | 1 |
| Fibras sintéticas (malla de polipropileno) | 1 |
| Geomalla industrial | 1 |
| Hormigón proyectado | 1 |

| Tipo de estrategia | Cantidad |
|----------------------------------|-----------------|
| Malla de bolsa de cemento | 1 |
| Malla de uso avícola | 1 |
| Malla electrosoldada | 1 |
| Marcos prefabricados en hormigón | 1 |
| Mortero enlucido | 1 |
| Mortero reforzado con textiles | 1 |
| Morteros reforzados (TRM) | 1 |
| Paneles de bambú | 1 |
| Pañete de yeso | 1 |
| Polímeros con fibra de vidrio | 1 |
| Yeso + fibra de vidrio | 1 |
| Yeso y cemento | 1 |

Nota: Muestra la frecuencia con que cada técnica ha sido estudiada, indicando las alternativas con mayor respaldo en la comunidad científica. Fuente: Elaboración propia.

Los refuerzos estructurales de mayor impacto analizados en la literatura indican que tanto las fibras sintéticas como el ferrocemento se destacan como estrategias con mayor investigación. Por un lado, las fibras sintéticas exhiben notables propiedades de resistencia a la compresión y durabilidad (Arvizu-Montes et al., 2025). Por otro, el ferrocemento ha demostrado alta eficacia debido al uso de mallas metálicas de alta resistencia a la tracción, alto módulo de elasticidad, bajo peso, resistencia a la corrosión y fácil instalación, atributos que lo convierten en una solución práctica para reforzar estructuras (Lyngkhai et al., 2023).

Estas características propias de los refuerzos, que favorecen la eficiencia, la durabilidad y la viabilidad económica son fundamentales al considerar la selección de los materiales bajo criterios (Tabla 1), teniendo en cuenta las condiciones del lugar y la accesibilidad de los recursos para su implementación donde son limitados. En este contexto, es importante señalar que gran parte de los estudios analizados en la literatura se desarrollaron bajo nuevas condiciones de la mampostería y mediante ensayos realizados en condiciones controladas en el laboratorio. Por

ejemplo, el estudio realizado por Dhir et al., (2025) presenta las propiedades mecánicas basados en ensayos experimentales, donde reporta una resistencia a la compresión de 15.28 MPa para el ladrillo de y 2.4 MPa para el mortero. De manera similar, Zhao et al., (2023), reporta resistencias de 10.2 MPa para el ladrillo y 2.1 MPa para el mortero, mientras que Tsiavos et al., (2021) presenta valores de 11.2 MPa y 1.58 MPa, respectivamente, en el análisis de su modelo de mampostería.

En relación con el mortero de pega la NSR-10 establece una clasificación de morteros en la sección D de la norma, más exactamente en la Tabla D.3.4-1, donde menciona los tipos de morteros. El mortero tipo N, tiene una resistencia a la compresión de 7.5 MPa siendo este el valor más mínimo de la tabla. Dentro de la NSR-10, se considera las normas Técnicas Colombianas NTC del Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC, una de ellas es la NTC 4205 que establece los requisitos para los ladrillos y bloques cerámicos utilizados como unidades de mampostería, con valores de resistencia mínima a la compresión de los ladrillos macizos es de 15 MPa. En consecuencia, estos datos nos proporcionan una base técnica, en relación con los materiales empleados en países en desarrollo que cumplen parcialmente con la normativa colombiana en cuanto a resistencia de compresión. Por lo que se prioriza el desempeño estructural en contextos donde existe un índice de vulnerabilidad alta (Tabla 2). Considerando las características de costo, complejidad de construcción, impacto ambiental y desempeño estructural y analizado la información extraída de las estrategias de reforzamiento, incluyendo los detalles proporcionados por los autores (Apéndice C), se construyó la Tabla 5, en la que se resume los resultados para las cinco estrategias con mayor puntaje basado en criterios eficientes y rentables. A continuación, se describen algunos aspectos claves de cada estrategia.

Tabla 5. Estrategias con mayor puntaje.

| Estrategia | Costo | Complejidad de construcción | Impacto ambiental | Desempeño estructural | | | | Promedio desempeño estructural | Puntaje total |
|--|-------|-----------------------------|-------------------|-----------------------|---|---|---|--------------------------------|---------------|
| | | | | A | B | C | D | | |
| Ferrocemento | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3.00 | 2.30 |
| Fibras sintéticas (malla de polipropileno) | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2.75 | 2.43 |
| Anclaje horizontal | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2.50 | 2.45 |
| Yeso y cemento | 3 | 3 | 3 | 1 | 0 | 3 | 0 | 1.00 | 2.40 |
| Fibras naturales | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1.00 | 2.40 |

Nota: Resultado final de la evaluación multicriterio, seleccionando las alternativas más viables técnica, económica y ambientalmente. A continuación, se detalla los ítems alfabéticos expuestos en la tabla 5: (A) Resistencia a la compresión. (B) Resistencia la tracción. (C) Resistencia al cortante. (D) Capacidad de deformación. Fuente: Elaboración propia.

El reforzamiento de viviendas con fibras sintéticas a base de mallas de polipropileno presenta mejora en relación con la resistencia al colapso, a la rigidez y la capacidad de deformación de los muros de mampostería de ladrillo. De acuerdo con un estudio realizado en China, realizando probetas transversales a una rejilla de polipropileno, se obtuvo las propiedades mecánicas evidenciando resultados favorables en relación con la resistencia a la tracción obteniendo 171.2 MPa y modulo elástico de 2006 MPa (Liu et al., 2024). Como prueba final de la investigación presentaron un modelo a escala de una vivienda con un revestimiento de mortero de cemento con malla de polipropileno (Fig, 7a), presentando el proceso de falla y estado de

daño, evidenciando resultados de daños en las esquinas de ventanas y puertas, pero presentando mejores resultados en los muros transversales de carga.

El reforzamiento estructural mediante la aplicación de yeso y cemento mejora la cohesión superficial y contribuye a un comportamiento más uniforme ante sollicitaciones externas (Fig. 7b). Evidenciado en un estudio realizado en Irán, sometiendo a ensayo especímenes bajo tensión diagonal, los resultados plasmaron mejoras significativas del 53% en la resistencia al corte de las estructuras de muros realizando recubrimientos a una cara en comparación con los resultados obtenidos a doble cara con un porcentaje de mejora del 424% (Ostad et al., 2025b).

El reforzamiento estructural mediante anclajes horizontales mejora la integridad y el comportamiento conjunto frente a cargas laterales (Syiemiong & Marthong, 2021b), ayudando a controlar la separación entre elementos, limitan la aparición de fallas por volteo e incrementan la estabilidad global de la estructura ante eventos o acciones externas (Fig. 7c).

El reforzamiento estructural mediante el uso de fibras naturales consiste en la incorporación de materiales de origen vegetal dentro de la mezcla de mortero, con el fin de mejorar el comportamiento mecánico de los muros (Fig. 7d). Las fibras surgen como una alternativa amigable con el ambiente debido a su bajo impacto ambiental, ayudan a mejorar significativamente el rendimiento mecánico de los morteros, aumentando la resistencia a la compresión obteniendo 21.2 MPa a los 28 días y la flexión de 5.5 MPa a los 28 días de curado de las muestras realizadas y ensayadas bajo prueba de flexión (Arvizu-Montes et al., 2025).

El reforzamiento estructural con ferrocemento contribuye a una mejora de desempeño estructural, de acuerdo con la investigación realizada en la Universidad de Pakistán. Evaluando el desempeño sísmico de muros de mampostería reforzados con una capa de ferrocemento (Fig. 7e),

ensayando muestras bajo carga cíclica de compresión equivalente al 20% de la resistencia de la parte superior del muro. Entre los resultados se evidenció mejoras en la ductilidad por desplazamiento del 69%, indicando un aumento en la capacidad del muro para soportar grandes desplazamientos, también se presentó una buena resistencia a las cargas laterales con un 33% de mejora, al igual que la capacidad de carga de los muros de mampostería. Sumado a esto también se evidencio un aumento del 68 % en la capacidad de deformación del muro, en resumen es una técnica eficaz para mejorar el comportamiento sísmico de muros de mampostería confinada y no reforzada (Irfanullah et al., 2024).

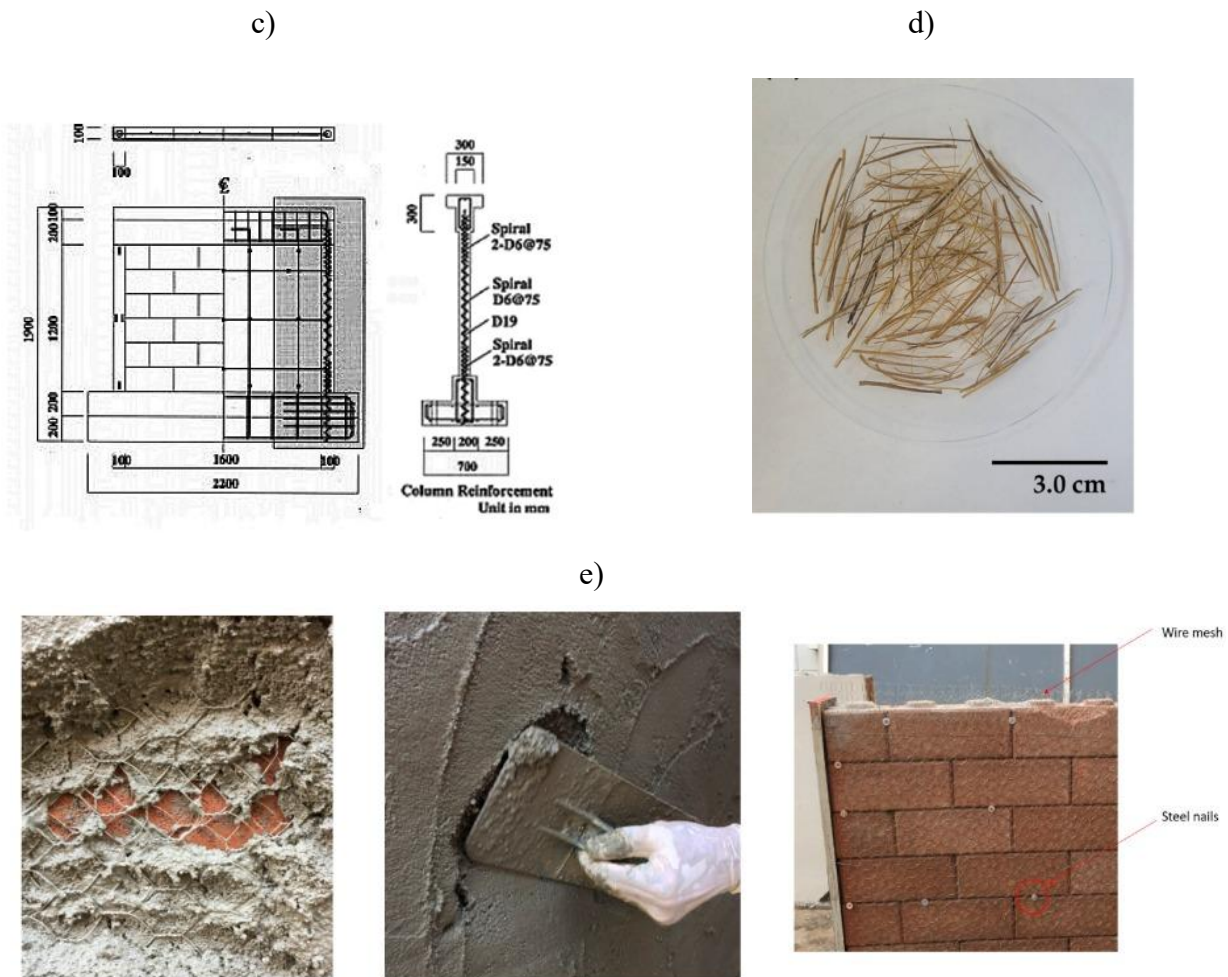
Figura 7 Estrategias de reforzamiento seleccionadas a). Reforzamiento con malla de polipropileno, b) Reforzamiento con yeso y cemento, c) Reforzamiento con anclajes horizontales, d) Reforzamiento con fibras naturales, e) Reforzamiento con ferrocemento.

a)



b)





Nota: Figuras ilustrativas de las cinco estrategias seleccionadas. Fuente: (Liu et al., 2024a), Ostad et al., (2025), (Syiemiong & Marthong, 2021), Liu et al., (2024), Lyngkhai et al., (2023).

3.3 Verificación del cumplimiento de acuerdo con la normativa vigente

Una vez seleccionadas las cinco estrategias promisorias (Tabla 5), se realizó la verificación de cumplimiento de cada una conforme a las exigencias mínimas establecidas por la NSR-10, empleando el título D de la norma (Mampostería estructural), específicamente los capítulos D.4, D.6 y D.12 que contiene respectivamente, los requisitos constructivos para mampostería estructural, mampostería de cavidad reforzada y mampostería reforzadas

externamente. Con base en los parámetros exigidos como requisitos mínimos por la NSR-10, se comparan los resultados obtenidos del análisis de los 36 artículos seleccionados para verificar su cumplimiento, frente a cada requisito normativo evaluado (Tabla 6). La categoría de cumplimiento parcial se asigna cuando un ítem incluye dos o más requisitos establecidos por la norma y la estrategia evaluada cumple únicamente con alguno de ellos, sin satisfacer la totalidad de las exigencias. De igual manera, este cumplimiento puede considerarse parcial debido a que, al tratarse de estrategias de reforzamiento desarrolladas en otros países, su evaluación responde a normativas con requerimientos diferentes a los establecidos en Colombia y cumplimiento normativo, tenga requerimientos diferentes a los establecidos en Colombia.

Se recomienda efectuar un análisis estructural previo a cualquier intervención, basándose en el capítulo A-10 (evaluación e intervención de edificaciones existentes), con el fin de determinar el estado actual de la estructura y definir el tipo de intervención más adecuado.

Tabla 6. Verificación cumplimiento de estrategias en base a la NSR-10.

| Estrategia | Análisis normativo NSR-10 | Requisitos mínimos para su cumplimiento | Valor obtenido | Cumplimiento | Artículos de referencia |
|--|--|--|------------------|---------------------|-------------------------|
| Fibras sintéticas (malla de polipropileno) | D.12.1.4 (Resistencia mínima del mortero) | $f_c \geq 12.5$ MPa | $f_c = 13.2$ MPa | Cumple ✓ | (Liu et al., 2024a) |
| | D.12.3.3 (Anclaje del refuerzo) | Clavos de acero (9 /m ²), Ø min =3mm, L≥10mm | L= 50 mm | Cumple parcialmente | |
| | | Barra o alambre de acero (4/m ²), Ømin=4.5mm | - | - | |
| | D.12.4.5 | Garantice trabajo | - | - | |

| Estrategia | Análisis normativo NSR-10 | Requisitos mínimos para su cumplimiento | Valor obtenido | Cumplimiento | Artículos de referencia |
|---------------|---|--|--|-------------------------|---|
| | (Monolitismo estructural) | conjunto | | | |
| | D.12.5.2 (Espesor del mortero de recubrimiento) | $e \geq 15\text{mm} < 45\text{mm}$ | 12 mm | No cumple X | |
| | D.12.5.3 (Curado del mortero de recubrimiento) | $t \geq 7$ días | - | - | |
| | D.12.5.4 (Control de calidad de materiales) | Garantizar resistencias mínimas | - | - | |
| Ferrocimiento | D.12.1.4 (Resistencia mínima del mortero) | $f_c \geq 12.5$ MPa | $f_c = [3.0-35.0]$ MPa | Cumple parcialmente | |
| | D.12.3.2 (Refuerzo mínimo en cuantía) | Ref. min Horizontal= 0.00035 Ref. min Vertical= 0.00035 | $\rho = [0.0005-0.0035]$ $\rho = [0.0005-0.0035]$ | Cumple ✓ Cumple ✓ | |
| | D.12.3.2.1 (Separación del refuerzo) | $S < 300\text{mm}$ | - | - | (Gul et al., 2024),(D. Sen et al., 2023a),(Lyngkhai et al., 2023a),(Jomyklad et al., 2021a),(Asif et al., 2021) |
| | D.12.3.3 (Anclaje del refuerzo) | Clavos de acero (9 /m ²), Ø min =3mm, L≥10mm Barra o alambre de acero (4/m ²), Ømin=4.5mm | L=32 mm, 12 clavos/m ² Ø =1 mm | Cumple ✓ No cumple X | |
| | | Debe ser continuo y disponer de los traslapos necesarios | - | - | |
| | D.12.4.5 (Monolitismo estructural) | Garantice trabajo conjunto | - | - | |
| | D.12.5.2 (Espesor del mortero de recubrimiento) | $e \geq 15\text{mm} < 45\text{mm}$ | 25 mm | Cumple ✓ | |
| | D.12.5.3 (Curado del mortero de recubrimiento) | $t \geq 7$ días | 7 días | Cumple ✓ | |

| Estrategia | Análisis normativo NSR-10 | Requisitos mínimos para su cumplimiento | Valor obtenido | Cumplimiento | Artículos de referencia |
|--------------------|--|---|-------------------------------------|--------------|--|
| | D.12.5.4 (Control de calidad de materiales) | Garantizar resistencias mínimas | - | - | |
| Anclaje horizontal | D.4.2.2 (Diámetros mínimos y máximos para el refuerzo) | $\varnothing \text{ min} = 10\text{MM}$ o $3/8''$ | $\varnothing = 1/2''$ | Cumple ✓ | |
| | D.6.3.2 (Refuerzo mínimo en cuantía) | Ref. min Horizontal= 0.0020 | $\rho = 0.0021$ | Cumple ✓ | (Yavartan oo & Kang, 2022a),(S yiemiong & Marthong, 2021a) |
| | | Ref. min Vertical= 0.0015 | $\rho = 0.0021$ | Cumple ✓ | |
| | D.6.3.2.1 (Separación del refuerzo) | $S > 50\text{mm}$ $S < 400\text{mm}$ | $S = 500\text{mm}$ | Cumple ✓ | |
| | D.6.3.3 (Refuerzo en aberturas) | Dos barras $1/2''$ en cada extremo del muro | - | - | |
| | D.6.4.5 (Monolitismo estructural) | Garantice trabajo conjunto | - | - | |
| | D.6.5.4 (Control de calidad de materiales) | Garantizar resistencias mínimas | - | - | |
| Yeso y cemento | D.12.1.4 (Resistencia mínima del mortero) | $f_c \geq 12.5 \text{ MPa}$ | $f_c = 17.1 \text{ MPa}$ | Cumple ✓ | |
| | D.12.4.5 (Monolitismo estructural) | Garantice trabajo conjunto | Se verificó control de construcción | Cumple ✓ | (Ostad et al., 2025a) |
| | D.12.5.2 (Espesor del mortero de recubrimiento) | $e \geq 15\text{mm} < 45\text{mm}$ | $e = 20\text{mm}$ | Cumple ✓ | |
| | D.12.5.3 (Curado del mortero de recubrimiento) | $t \geq 7$ días | 14 días | Cumple ✓ | |
| | D.12.5.4 (Control de calidad de | Garantizar resistencias mínimas | Se realizó control de | Cumple ✓ | |

| Estrategia | Análisis normativo NSR-10 | Requisitos mínimos para su cumplimiento | Valor obtenido | Cumplimiento | Artículos de referencia |
|------------------|---|---|------------------|--------------|-------------------------|
| | materiales) | | calidad | | |
| Fibras naturales | D.12.1.4 (Resistencia mínima del mortero) | $f_c \geq 12.5$ MPa | $f_c = 17.3$ MPa | Cumple ✓ | |
| | D.12.4.5 (Monolitismo estructural) | Garantice trabajo conjunto | - | - | |
| | D.12.5.2 (Espesor del mortero de recubrimiento) | $e \geq 15\text{mm} < 45\text{mm}$ | - | - | (Liu et al., 2024a) |
| | D.12.5.3 (Curado del mortero de recubrimiento) | $t \geq 7$ días | 28 días | Cumple ✓ | |
| | D.12.5.4 (Control de calidad de materiales) | Garantizar resistencias mínimas y evitar el deterioro de las fibras | - | - | |

Nota: Cumplimiento de los requisitos mínimos basado en la normativa NSR -10, de las cinco

estrategias seleccionadas. Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

Se evidenció que las viviendas informales en Bucaramanga, en su mayoría, están construidas en mampostería no reforzada, así como en sistemas mixtos que incluyen madera y materiales reciclables como cartón y plástico, y mampostería confinada. Estas tipologías constructivas presentan, en general una alta vulnerabilidad estructural, asociada a deficiencias en la calidad de los materiales, deficiencias en la cimentación, condiciones inadecuadas del terreno y, principalmente, a la ausencia de criterios técnicos en el diseño y su ejecución.

En este sentido, se precisa que la mampostería confinada no es vulnerable por sí misma; su desempeño depende directamente de que sea adecuadamente diseñada y construida conforme a lineamientos técnicos, siendo los contextos de autoconstrucción sin supervisión los que concentran los mayores niveles de riesgo.

A partir del análisis bibliográfico de los 36 artículos seleccionados y la aplicación de criterios de evaluación asociados al costo, la complejidad constructiva, el impacto ambiental y el desempeño estructural, se identificaron cinco estrategias de reforzamiento (Ferrocemento, fibras sintéticas, anclaje horizontal, yeso y cemento, fibras naturales) que destacan por su alto potencial de mejorar el comportamiento estructural de edificaciones existentes, la ductilidad y la capacidad de disipación de energía, contribuyendo así a una respuesta sísmica más adecuada.

Se identificó que en ninguno de los artículos seleccionados se desarrollan evaluaciones del comportamiento a largo plazo del reforzamiento. Es decir, en los documentos no se consideran análisis que permitan verificar su desempeño sísmico en el tiempo frente a factores ambientales, lo que limita la comprensión de su eficiencia estructural en condiciones reales de servicio. Por ello se recomienda hacer un análisis posterior a la aplicación de reforzamientos en

viviendas de mampostería, con el fin de evaluar el desempeño estructural del refuerzo sometido a factores ambientales y sísmicos.

Las estrategias seleccionadas y evaluadas demuestran un alto potencial como soluciones viables para la reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería, además de cumplir de manera parcial más de dos lineamientos de la NSR-10, lo que respalda su consideración para la implementación en contextos urbanos con condiciones similares.

Las estrategias de reforzamiento identificadas en la literatura evidencian que la viabilidad de su implementación en viviendas informales no depende exclusivamente de su desempeño estructural, sino de su capacidad de adaptarse a contextos de alta vulnerabilidad. En este sentido, las soluciones que emplean materiales accesibles, de bajo costo y que no requieren mano de obra especializada, como las mallas de polipropileno, los recubrimientos con mortero (yeso-cemento) y las fibras naturales, presentan mayores posibilidades de adopción en entornos de autoconstrucción. Asimismo, se observa que varias investigaciones priorizan técnicas constructivas simplificadas y el uso de recursos locales disponibles, lo que contribuye a reducir barreras económicas y facilita su apropiada recepción por las comunidades. No obstante, persisten limitaciones asociadas a la falta de articulación con marcos normativos y mecanismos institucionales que permitan su implementación formal, lo que refleja la necesidad de integrar enfoques técnicos con estrategias de política pública. En conjunto, la literatura sugiere que avanzar hacia soluciones de reforzamiento sostenibles implica no solo optimizar el desempeño

estructural, sino también garantizar su accesibilidad y adecuación al contexto social en el que serán aplicadas.

Propuestas a futuro

A partir de los resultados obtenidos y considerando las limitaciones identificadas durante el desarrollo de esta investigación, se evidencia la necesidad de continuar profundizando en estudios relacionados con el reforzamiento sísmico de viviendas informales de mampostería en Bucaramanga. En este sentido, futuros trabajos podrían orientarse no solo hacia la validación experimental y técnica de las estrategias analizadas, sino también hacia enfoques sociales, normativos e institucionales que permitan fortalecer la gestión del riesgo y mejorar las condiciones de habitabilidad de las comunidades vulnerables de la ciudad.

- **Simulación computacional y modelación sísmica de viviendas informales.**
- **Programas piloto de mejoramiento progresivo de viviendas informales.** (La idea de este trabajo es generar un convenio entre el ente encargado de desarrollar estos programas piloto junto a la Universidad Industrial de Santander)
- **Evaluación del impacto social del reforzamiento estructural.** (El enfoque principal de este tema sería analizar cómo el mejoramiento estructural influye en la percepción de seguridad, calidad de vida, estabilidad familiar, valorización de la vivienda y la reducción de vulnerabilidad social.)

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Bucaramanga. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial 2014-2027 de Bucaramanga*.
- Alcaldía de Bucaramanga. (2020). *Plan de Desarrollo Bucaramanga 2020-2023*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.bucaramanga.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/Primer-Documento-PDM-Final.pdf
- Alcaldía de Bucaramanga. (2022). *Estudio urbanístico final para la legalización del asentamiento humano denominado «Campestre norte» (Versión 001)*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.bucaramanga.gov.co/wp-content/uploads/2023/12/VFF-05-11-2023-DTS-EUF-Campestre-Norte.pdf
- Alcaldía de Bucaramanga. (2023). *Estudio urbanístico para la legalización del asentamiento humano denominado «Campestre Norte»*.
- Alcaldía de Bucaramanga. (2023). *Estudio urbanístico para la legalización del asentamiento humano denominado «Vegas de Morrórico-El Plan-Comuna 14»*.
- Aminulai, H. O., Baiguera, M., Crump, D. A., Sextos, A., & Kashani, M. M. (2023). Experimental qualification of seismic strengthening of URM buildings in Nepal. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 173, 108130. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.108130>
- Anturi Almario, C. A., & Vasquez Serrato, V. (2024). *Evaluación de la vulnerabilidad estructural de viviendas informales: Caso de estudio barrio Mirador de Corinto Soacha*.
- Arvizu-Montes, A., Guerrero-Bustamante, O., Polo-Mendoza, R., & Martinez-Echevarria, M. J. (2025). Mechanical Performance of Fiber-Reinforced Cement Mortars: A Comparative

- Study on the Effect of Synthetic and Natural Fibers. *Buildings*, 15(13), 2352.
<https://doi.org/10.3390/buildings15132352>
- Asif, M. M., Alam, M. Z., & Ahsan, R. (2021). Experimental study on behavior of ferrocement retrofitted unconfined URM wall under cyclic loading. *Asian Journal of Civil Engineering*, 22(6), 1059-1074. Scopus.
- Bao, C., Xu, F., Chen, G., Ma, X., Mao, M., & Zhang, S. (2019). Seismic vulnerability analysis of structure subjected to uneven foundation settlement. *Applied Sciences*, 9(17), 3507.
- Borrero Castellanos, C. V., & Mejía Camacho, L. M. (2013). *Resistencia a la comprensión de unidades de mampostería no estructural utilizada en la ciudad de Bucaramanga*.
- Bracho Tovar, Carlos Eduardo. (2008). *Elaboración de una base de datos de las características estructurales de las edificaciones de la ciudad de Bucaramanga*. Universidad Industrial de Santander.
- Caballero Moreno, W. G. (2014). *Forjados de bajo costo: Análisis de la situación del área metropolitana de Bucaramanga*.
- Caballero Moreno, W. G., Alegre, I., Armengou-Orús, J., & Aguado, A. (2019). Self-construction in informal settlements: A multiple-criteria decision-making method for assessing sustainability of floor slabs in Bucaramanga, Colombia. *Journal of Housing and the Built Environment*, 34(1), 195-217.
- Caballero, W., Alegre, I., Armengou, J., & Aguado, A. (2019). Self-construction in informal settlements: A multiple-criteria decision-making method for assessing sustainability of floor slabs in Bucaramanga, Colombia. En *Journal of housing and the built environment* (Vol. 34, Número 1, pp. 195-217). <https://doi.org/10.1007/s10901-018-9606-5>

Cadena Cadena, Christian Camilo. (2018). *Asentamiento 12 de octubre. Una reflexión de la vivienda informal bajo las políticas del estado y los procesos participativos con comunidades*. Universidad Santo Tomás.

ChatGPT. (2026). <https://chatgpt.com/c/69fa9763-4030-83e9-b6ed-d114bb710ad7>

Chourasia, A., Singhal, S., & Parashar, J. (2019). Experimental investigation of seismic strengthening technique for confined masonry buildings. *Journal of Building Engineering*, 25, 100834. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100834>

Clichevsky, N. (2009). Algunas reflexiones sobre informalidad y regularización del suelo urbano. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 14(1), 63-88.

DANE. (2018). *Geovisor Déficit Habitacional CNPV 2018*. <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/deficit-habitacional/>

DANE. (2021). *Encuesta Nacional de Calidad de Vida ECV 2021*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/deficit-habitacional/presentacion-rueda-de-prensa-deficit-hab-2021.pdf>

Debnath, P., Chandra Dutta, S., & Mandal, P. (2023). Lateral behaviour of masonry walls with different types of brick bonds, aspect ratio and strengthening measures by polypropylene bands and wire mesh. *Structures*, 49, 623-639. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.155>

Dhir, P. K., Rapicavoli, D., Panto, B., & Szytniszewski, S. (2025). Numerical simulation of the in-plane response of masonry walls retrofitted with “splints and bandages” systems. *Engineering Structures*, 342, 120678. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2025.120678>

- DNP. (2018). *Atlas de la aglomeración de Bucaramanga* (p. https://osc.dnp.gov.co/administrator/components/com_publicaciones/uploads/Atlas_Aglomeracin_de_Bucaramanga.pdf).
- Durán Aguirre, C. M., & Tarazona Gómez, J. A. (2014). *Diagnostico de amenaza y vulnerabilidad en asentamientos informales en el Norte de Bucaramanga*.
- Ebrahimzadeh, S., & Nasrollahzadeh, K. (2022). Experimental Study on Performance of Repaired and Strengthened Unreinforced Masonry Walls Using Polypropylene Bands. *Scientia Iranica*, 0(0), 0-0. <https://doi.org/10.24200/sci.2022.59449.6252>
- Gomez, H. (2022). Informalidad en la vivienda y propuestas de solución. *Banca & Economía. Asobancaria*, 1-9.
- Grammarly. (2026). [Software]. <https://app.grammarly.com/>
- Gul, A., Khan, K., Khan, I. U., ElDin, H. M. S., Azab, M., & Shahzada, K. (2024). Improving the lateral load resistance capacity of cellular lightweight concrete (CLC) block masonry walls through ferrocement overlay. *Applications in Engineering Science*, 18. Scopus. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85190867663&doi=10.1016%2Fj.apples.2024.100180&partnerID=40&md5=d701745f42ad0dddf3c11e5f4d9db79e>
- Herrera Manrique, L. V. (s. f.). *Limite replicable de vivienda en zona de riesgo No mitigable sobre la escarpa de Bucaramanga*.
- Hung, T. Q., Mizoguchi, M., & Takase, Y. (2023). Strengthening Effect of the Fixing Method of Polypropylene Band on Unreinforced Brick Masonry in Flexural, Shear, and Torsion Behaviors. *Buildings*, 13(11), 2863. <https://doi.org/10.3390/buildings13112863>

- Irfanullah, Gul, A., Khan, K., Khan, I. U., ElDin, H. M. S., Azab, M., & Shahzada, K. (2024). Improving the lateral load resistance capacity of cellular lightweight concrete (CLC) block masonry walls through ferrocement overlay. *Applications in Engineering Science*, 18, 100180. <https://doi.org/10.1016/j.apples.2024.100180>
- Joyklad, P., Ali, N., Verre, S., Magbool, H. M., Elnemr, A., Qureshi, M. I., Hussain, Q., & Chaiyasarn, K. (2021a). Experimental study on the out-of-plane behavior of brick masonry walls strengthened with mortar and wire mesh: A pioneer study. *Infrastructures*, 6(11). Scopus. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85119995378&doi=10.3390%2Finfrastructures6110165&partnerID=40&md5=10204343bf890f7387fd496f52be50ee>
- Joyklad, P., Ali, N., Verre, S., Magbool, H. M., Elnemr, A., Qureshi, M. I., Hussain, Q., & Chaiyasarn, K. (2021b). Experimental Study on the Out-of-Plane Behavior of Brick Masonry Walls Strengthened with Mortar and Wire Mesh: A Pioneer Study. *Infrastructures*, 6(11), 165. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6110165>
- Joyklad, P., Waqas, H. A., Hafeez, A., Ali, N., Ejaz, A., Hussain, Q., Khan, K., Sangthongtong, A., & Saingam, P. (2023). Experimental Investigations of Cement Clay Interlocking Brick Masonry Structures Strengthened with CFRP and Cement-Sand Mortar. *Infrastructures*, 8(3), 59. <https://doi.org/10.3390/infrastructures8030059>
- Lallemant, D., Burton, H., Ceferino, L., Bullock, Z., & Kiremidjian, A. (2017). A framework and case study for earthquake vulnerability assessment of incrementally expanding buildings. *Earthquake spectra*, 33(4), 1369-1384.

- Lamour, M., & Cecchin, A. (2021). Repurposed materials in construction: A review of low-processed scrap tires in civil engineering applications for disaster risk reduction. *Construction and Building Materials*, 293, 123368. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123368>
- Lee, H.-J., Kim, S., Mun, J.-H., Choi, Y.-S., & Yang, K.-H. (2023). Shaking table tests of masonry wall reinforced with steel-bar truss units linked by spring dampers. *Journal of Building Engineering*, 74, 106860. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106860>
- Liu, Z., Shen, M., Zhang, F., Xue, J., & Liang, Y. (2024a). Seismic behavior of the brick masonry rural building strengthened with polypropylene grid cement mortar coating: Shaking table tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 176. Scopus. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85175819013&doi=10.1016%2Fj.soildyn.2023.108318&partnerID=40&md5=575b2547de85629d5755472d2024ab53>
- Liu, Z., Shen, M., Zhang, F., Xue, J., & Liang, Y. (2024b). Seismic behavior of the brick masonry rural building strengthened with polypropylene grid cement mortar coating: Shaking table tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 176, 108318. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.108318>
- López Restrepo, S. (2013). *Evaluación del comportamiento de muros de mampostería no reforzada recubiertos con mortero reforzado*.
- Losanno, D., Ravichandran, N., & Parisi, F. (2023). Seismic fragility models for base-isolated unreinforced masonry buildings with fibre-reinforced elastomeric isolators. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 52(2), 308-334. <https://doi.org/10.1002/eqe.3761>

- Lyngkhoi, R. B., Warjri, T., Warlarpih, W., & Marthong, C. (2023a). Effectiveness of steel wire mesh as a strengthening material for masonry walls: A review. *Structural Monitoring and Maintenance, 10*(2), 117-132. Scopus.
- Lyngkhoi, R. B., Warjri, T., Warlarpih, W., & Marthong, C. (2023b). Effectiveness of steel wire mesh as a strengthening material for masonry walls: A review. *Structural Monitoring and Maintenance, 10*(2), 117-132. <https://doi.org/10.12989/SMM.2023.10.2.117>
- Lyngkhoi, R. B., Warjri, T., Warlarpih, W., & Marthong, C. (2023c). Effectiveness of steel wire mesh as a strengthening material for masonry walls: A review. *Structural Monitoring and Maintenance, 10*(2), 117-132. <https://doi.org/10.12989/SMM.2023.10.2.117>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2023). *AIS 410-23. Evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería.*
- Minvivienda. (2018). En los últimos 30 años ciudades y municipios de Colombia han crecido de manera informal. *Ministerio de vivienda, ciudad y territorio.* <https://minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/en-los-ultimos-30-anos-ciudades-y-municipios-de-colombia-han-crecido-de-manera-informal>
- Mirzaei, J., Amiri Hanzaei, H., Khaleghi, H., & Kashani, H. (2024). Cost estimation models for seismic retrofit of masonry school buildings. *International Journal of Construction Management, 24*(8), 843-853. <https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2138616>
- Navarro García, Oscar Andres, Q. R., Erison. (s. f.). *Reparación y reforzamiento de construcciones informales.*
- Ostad, D., Shafaei, J., & Alaei, F. J. (2025a). Experimental evaluation of diagonal tension test on hollow clay block wallettes with different configurations of non-structural materials

- (cement and plaster). *Structures*, 79. Scopus.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105008226731&doi=10.1016%2Fj.istruc.2025.109418&partnerID=40&md5=350c595433ed87432dbd56f7d0e9e581>
- Ostad, D., Shafaei, J., & Alaei, F. J. (2025b). Experimental evaluation of diagonal tension test on hollow clay block wallettes with different configurations of non-structural materials (cement and plaster). *Structures*, 79, 109418. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109418>
- Ostad, D., Shafaei, J., & Alaei, F. J. (2025c). Experimental evaluation of diagonal tension test on hollow clay block wallettes with different configurations of non-structural materials (cement and plaster). *Structures*, 79, 109418. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109418>
- Ostad, D., Shafaei, J., & Alaei, F. J. (2025d). Experimental evaluation of the diagonal tension test of hollow clay blocks strengthening with (AR) glass fibers. *Case Studies in Construction Materials*, 23, e05151. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05151>
- Puri, V., Chakraborty, P., & Anand, S. (2020). Flexural behaviour of bamboo-reinforced wall panels with varying fly ash content. *Magazine of Concrete Research*, 72(9), 434-446. <https://doi.org/10.1680/jmacr.18.00253>
- QuillBot. (s. f.). [Software]. Recuperado <https://quillbot.com/>
- Quintero González, W. A. (2022). *Diseño de vivienda progresiva con estrategias sostenibles para el barrio Cristal Bajo de Bucaramanga-Colombia*.
- Ramírez Ortiz, M. A. (2015). *El desplazamiento forzado generante de asentamiento informal como enervante del ordenamiento territorial sostenible en el municipio de Bucaramanga*.

- Rocha, R., Jaramillo, S., Tovar, J., Garcia, L., Salazar, L., & Saboya, O. (2006). Informalidad de la vivienda y el suelo en Bucaramanga y Cartagena. *Documento CEDE*, 42, 1-67.
- Rondòn, E. M., & Cho, G. C. (2005). Identificación de las zonas sísmicamente más vulnerables en la ciudad de Bucaramanga. *Revista UIS Ingenierías*, 4(2), 99-116.
- Sassu, M., De Falco, A., Giresini, L., & Puppio, M. (2016). Structural Solutions for Low-Cost Bamboo Frames: Experimental Tests and Constructive Assessments. *Materials*, 9(5), 346. <https://doi.org/10.3390/ma9050346>
- Sathiparan, N. (2015). Mesh type seismic retrofitting for masonry structures: Critical issues and possible strategies. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 19(9), 1136-1154. <https://doi.org/10.1080/19648189.2015.1005160>
- Sen, A., Halder, L., & Debnath, P. (2025). Seismic strengthening of masonry structures using sustainable reinforcing materials: A comparative analysis. *Structures*, 77, 109091. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109091>
- Sen, D., Alwashali, H., Islam, M. S., Seki, M., & Maeda, M. (2023a). Lateral strength evaluation of ferrocement strengthened masonry infilled RC frame based on experimentally observed failure mechanisms. *Structures*, 58. Scopus. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85175150041&doi=10.1016%2Fj.istruc.2023.105428&partnerID=40&md5=ad62d655ddcf195a83bdbb728bfbf5ed>
- Sen, D., Alwashali, H., Islam, M. S., Seki, M., & Maeda, M. (2023b). Lateral strength evaluation of ferrocement strengthened masonry infilled RC frame based on experimentally observed failure mechanisms. *Structures*, 58, 105428. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105428>

- SOCIAL, D. P. L. P. (2013). *Caracterización de los perfiles ocupacionales de informalidad laboral y empresarial en los sectores económicos de la ciudad de Bucaramanga*. 82-82.
- Syiemiong, H., & Marthong, C. (2021a). A review on improved construction methods for clay-brick and concrete-block ordinary masonry buildings. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 6(2), 67-83. Scopus.
- Syiemiong, H., & Marthong, C. (2021b). A review on improved construction methods for clay-brick and concrete-block ordinary masonry buildings. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 6(2), 67-83. <https://doi.org/10.1080/24705314.2020.1862963>
- Syiemiong, H., & Marthong, C. (2021c). A review on improved construction methods for clay-brick and concrete-block ordinary masonry buildings. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 6(2), 67-83. <https://doi.org/10.1080/24705314.2020.1862963>
- Tarque, N., Salsavilca, J., Yacila, J., & Camata, G. (2019). Multi-criteria analysis of five reinforcement options for Peruvian confined masonry walls. *Earthquake and Structures*, 17(2), 205-219. Scopus.
- Torres-Parra, C. A., Saldeño-Madero, Y. N., Castiblanco-Prieto, J. J., & García-Ubaque, C. A. (2020). *Propuesta de diagnóstico de habitabilidad en asentamientos humanos a nivel urbano*. Universidad Católica de Colombia, 2020.
- Tsiavos, A., & Oswald, L. (2025). Rehabilitation of buildings using multi-performance materials: Synergetic seismic and energy retrofitting of masonry buildings based on timber and flax-fiber-reinforced, cement-free concrete. *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*, 20(1), 113. <https://doi.org/10.1186/s40712-025-00343-3>

- Tsiavos, A., Sextos, A., Stavridis, A., Dietz, M., Dihoru, L., Di Michele, F., & Alexander, N. A. (2021). Low-cost hybrid design of masonry structures for developing countries: Shaking table tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 146, 106675. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106675>
- Tunçoku, S. S., İnceköse, Ü., Akış, T., & Yalçın, M. A. (2015). Assessment of Construction Techniques and Material Usage in İzmir Rural Houses. *International Journal of Architectural Heritage*, 9(8), 1005-1022. <https://doi.org/10.1080/15583058.2014.903446>
- Umair, S. M., Numada, M., Amin, M. N., & Meguro, K. (2015). Fiber reinforced polymer and polypropylene composite retrofitting technique for masonry structures. *Polymers*, 7(5), 963-984. Scopus.
- Umair, S., Numada, M., Amin, M., & Meguro, K. (2015). Fiber Reinforced Polymer and Polypropylene Composite Retrofitting Technique for Masonry Structures. *Polymers*, 7(5), 963-984. <https://doi.org/10.3390/polym7050963>
- Universidad de Santander. (2023). *Cerca De 4 Mil Sismos Registrados Este Año En Santander, Solo 16 Han Superado Los 4 Grados De Magnitud*. <https://bucaramanga.udes.edu.co/extension/noticias/de-cerca-de-4-mil-sismos-registrados-este-ano-en-santander-solo-16-han-superado-los-4-grados-de-magnitud#:~:text=El%20Observatorio%20Sismol%C3%B3gico%20del%20Nororient,una%20magnitud%20mayor%20a%205.0>.
- Yavartanoo, F., & Kang, T. H.-K. (2022a). Retrofitting of unreinforced masonry structures and considerations for heritage-sensitive constructions. *Journal of Building Engineering*, 49. Scopus. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85123731103&doi=10.1016%2Fj.jobe.2022.103993&partnerID=40&md5=c0fa71b45608e9a7b55c8bc2b44d2f0e

Yavartanoo, F., & Kang, T. H.-K. (2022b). Retrofitting of unreinforced masonry structures and considerations for heritage-sensitive constructions. *Journal of Building Engineering*, *49*, 103993. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.103993>

Zhang, C., Ali, A., & Sun, L. (2021). Investigation on low-cost friction-based isolation systems for masonry building structures: Experimental and numerical studies. *Engineering Structures*, *243*, 112645. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112645>

Zhao, X., Lu, X., Xue, J., Zhang, F., Du, J., Jiang, L., Ma, J., & Li, J. (2023). Augmenting the seismic performance of unreinforced masonry loess—Cave with composite materials through shaking table testing. *Journal of Building Engineering*, *80*, 107968. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107968>

Zhou, Q., Yang, L., & Zhao, W. (2020). Experimental Analysis of Seismic Performance of Masonry Shear Wall Reinforced with PP-Band Mesh and Plastering Mortar under In-Plane Cyclic Loading. *Advances in Civil Engineering*, *2020*(1), 4015790. <https://doi.org/10.1155/2020/4015790>

Apéndices

Apéndice A. Cadenas de búsqueda.

| RANGO | | 2014-2025 | |
|---|-------------|---|---------------------|
| IDIOMA | | ESPAÑOL - INGLES | |
| Ecuación de búsqueda inicial | # Artículos | Ecuación de búsqueda final | # Artículos finales |
| (" REINFORCED MASONRY" OR "REINFORCEMENT" OR "STRENGTHENING" OR "REPAIR" OR "REHABILITATION") AND ("MASONRY WALLS") AND ("INFORMAL HOUSING" OR "INFORMAL CONSTRUCTION" OR "DEVELOPING COUNTRIES") AND ("IMPROVEMENT STRATEGIES" OR "TECHNIQUES") AND (SUSTAINABLE OR "LOW COST" OR "ECONOMIC") | 161 | (" REINFORCED MASONRY" OR "REINFORCEMENT" OR "STRENGTHENING" OR "REPAIR" OR "REHABILITATION") AND ("MASONRY WALLS") AND ("INFORMAL HOUSING" OR "INFORMAL CONSTRUCTION" OR "DEVELOPING COUNTRIES") AND ("IMPROVEMENT STRATEGIES" OR "TECHNIQUES") AND (SUSTAINABLE OR "LOW COST" OR "ECONOMIC") AND (PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MATE")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "AR") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "RE") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "CP")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "ENGLISH")) | 104 |

Apéndice B. Datos de parámetros constructivos y características estructurales.

| Investigación | | | | |
|--------------------------|--|--|--|--------------------------|
| Fecha publicación | Nombre | Tema | Autores | Tipo de documento |
| 2014 | Diagnóstico de amenaza y vulnerabilidad en asentamientos informales en el norte de Bga | Tipos de viviendas, parámetros constructivos, mampostería confinada, muros de tapia pisada, madera | Jeison Alexis Tarazona Gómez Y Carlos Mario Durán Aguirre | Tesis de posgrado |
| 2022 | Una nueva mirada a los asentamientos informales, caso de estudio comuna 14, sector Morrórico. Bucaramanga Santander | Características estructurales | Tatiana Alejandra Ávila Rondón Miguel Ángel Liñán Gómez | Tesis de pregrado |
| 2012 | Reparación y reforzamiento de construcciones informales. | Mampostería y reforzamiento | Oscar Andrés Navarro García. Erison Quiroz Ramírez. | Tesis de pregrado |
| 2023 | Viabilidad técnica y económica de forjados de ferrocemento | Mejoramiento | Valentina Santamaría Angarita, Hermes Stiven Buenahora Morales | Tesis de pregrado |
| 2015 | Relación entre los factores sociales y ambientales con el índice de vulnerabilidad sísmica | Características estructurales | Carlos Andrés Reales Corredor/ José Luis Pérez Rojas | Tesis de pregrado |
| 2008 | Elaboración de una base de datos de las características estructurales de las edificaciones de la ciudad de Bucaramanga | Mampostería (confinada y no confinada), adobe, tapia pisada, hormigón, acero, otros | Carlos Eduardo Bracho Tovar | Tesis de pregrado |

| | | | | |
|-------------|---|--|--|---------------------------|
| 2021 | Limite replicable de vivienda en zona de riesgo no mitigable sobre la escarpa de Bucaramanga | Mampostería sin confinar, pórtico, madera | Laura Victoria Herrera Manrique | Tesis de pregrado |
| 2018 | Self-construction in informal settlements: a multiple-criteria decision-making method for assessing sustainability of floor slabs in Bucaramanga, Colombia. | Mampostería (confinada y no confinada), madera | Caballero, W.; Alegre, I.; Armengou, J.; Aguado, A.. | Artículo de investigación |
| 2018 | Asentamiento 12 de octubre. Una reflexión de la vivienda informal bajo las políticas del estado y los procesos participativos con comunidades. | Pórtico (vigas y columnas) | Christian Camilo Cadena Cadena | Tesis de pregrado |
| 2014 | Forjados de bajo costo: análisis de la situación del área metropolitana de Bucaramanga | Mampostería confinada, mampostería reforzada con forjados de losa maciza | William Gustavo Caballero Moreno | Tesis de posgrado |
| 2023 | Estudio urbanístico para la legalización del asentamiento humano denominado "vegas de Morrórico-el plan-comuna 14" | Mampostería confinada | Lyda Ximena Rodríguez Acevedo. | Documento de la alcaldía |
| 2023 | Estudio urbanístico para la legalización del asentamiento humano denominado "campestre norte" | Mampostería confinada | Ing. Juan Carlos Cárdenas Rey | Documento de la alcaldía |
| 2022 | Diseño de vivienda progresiva con estrategias sostenibles para el barrio cristal bajo de Bucaramanga Colombia | Mampostería confinada y sin confinar | Walkyria Alejandra Quintero González | Tesis de pregrado |

Apéndice C. Evaluación de estrategias de reforzamiento.

| Estrategia | Costo | Complejidad de construcción | Impacto ambiental | Desempeño estructural | | | | | Total | Referencias |
|--|-------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|-------|------------------------------|
| | | | | Resistencia a la compresión | Resistencia a la tracción | Resistencia al cortante | Capacidad de deformación | Promedio desempeño estructural | | |
| Fibras de lino + exoesqueleto de madera | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 0 | 3 | 2.25 | 2.08 | (Tsiavos & Oswald, 2025) |
| Yeso + fibra de vidrio | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0 | 2.25 | 2.28 | (Ostad et al., 2025d) |
| Férulas y vendajes | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0.75 | 1.63 | (Dhir et al., 2025) |
| Yeso y cemento | 3 | 3 | 3 | 1 | 0 | 3 | 0 | 1.00 | 2.40 | (Ostad et al., 2025c) |
| Fibras sintéticas (polipropileno) | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1.00 | 1.90 | (Debnath et al., 2023) |
| Malla de acero | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1.50 | 1.85 | |
| Fibras sintéticas (polipropileno) | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1.50 | 2.05 | (Arvizu-Montes et al., 2025) |
| Fibras naturales | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1.00 | 2.40 | |
| Bambú + malla de acero | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0.75 | 1.83 | (A. Sen et al., 2025) |
| Ferrocemento | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2.75 | 2.30 | (Irfanullah et al., 2024) |
| Ferrocemento + compuestos cementicios | 1 | 2 | 2 | 3 | 0 | 0 | 3 | 1.50 | 1.55 | (Zain et al., 2024) |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|------|------|-------------------------|
| Morteros reforzados (TRM) | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 0 | 1.50 | 1.35 | (Barcelo et al., 2024) |
| Polímeros reforzados con fibra (FRP) con malla de fibra de vidrio y resina epóxica | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.25 | 0.78 | |
| Fibras sintéticas (malla de polipropileno) | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2.75 | 2.43 | (Liu et al., 2024b) |
| Hormigón proyectado | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 | 2 | 1.25 | 1.08 | (Mirzaei et al., 2024) |
| Banda de acero | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0.75 | 1.63 | |
| Polímeros reforzados con fibra (FRP) | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2.00 | 1.30 | |
| Ferrocemento | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0.75 | 1.63 | (D. Sen et al., 2023b) |
| Fibras sintéticas (banda de polipropileno) | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2.50 | 2.23 | (Zhao et al., 2023) |
| Fibras sintéticas (banda de polipropileno) | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1.75 | 2.23 | (Aminulai et al., 2023) |
| Férulas y vendajes | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 0 | 2 | 1.75 | 1.93 | (Hung et al., 2023) |
| Amortiguadores de resorte | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2.00 | 1.90 | (Lee et al., 2023) |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|------|------|---------------------------------------|
| Fibras sintéticas (banda de polipropileno) | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2.75 | 2.23 | (Ebrahimzadeh & Nasrollahzadeh, 2022) |
| Fibras de carbono | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1.50 | 1.35 | (Joyklad et al., 2023) |
| Aisladores elastomericos fibras de caucho (FREI) | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1.00 | 1.60 | (Losanno et al., 2023) |
| Ferrocemento | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2.75 | 2.23 | (Lyngkhoi et al., 2023c) |
| Lechada reforzada con acero | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 2.00 | 1.80 | (Yavartanoo & Kang, 2022b) |
| Mortero reforzado con textiles | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2.50 | 1.65 | |
| Anclaje horizontal | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2.50 | 2.45 | |
| Ferrocemento | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2.75 | 2.23 | (Joyklad et al., 2021b) |
| Aislador de mortero de arena gruesa | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0.75 | 2.13 | (Zhang et al., 2021) |
| Ferrocemento | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2.75 | 2.23 | |
| Cojines elastométricos | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2.50 | 1.85 | (Lamour & Cecchin, 2021) |
| Fibras de caucho | 2 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 1.80 | (Tsiavos et al., 2021) |

| | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|------|------|-------------------------------|
| Anclaje horizontal | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 3 | 1.75 | 2.23 | (Syiemiong & Marthong, 2021c) |
| Pañete de yeso | 3 | 3 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0.75 | 2.13 | |
| Malla de acero | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2.50 | 2.15 | |
| Paneles de bambú | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1.25 | 2.28 | (Puri et al., 2020) |
| Mortero enlucido | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1.00 | 2.20 | (Zhou et al., 2020) |
| Fibras sintéticas (polipropileno) | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1.75 | 2.13 | |
| Malla de bolsa de cemento | 3 | 3 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0.75 | 2.13 | (Chourasia et al., 2019) |
| Geomalla industrial | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 1.50 | 1.35 | |
| Malla de uso avícola | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 2 | 1.75 | 1.93 | |
| Malla electrosoldada | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 2.00 | 2.00 | |
| Lechada reforzada con acero | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 1.75 | 1.73 | |
| Polímeros con fibra de vidrio | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 3 | 2.00 | 1.30 | |
| Marcos prefabricados en hormigón | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 2 | 3 | 2.00 | 1.30 | (Sassu et al., 2016) |
| Bambú | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1.00 | 2.00 | (Tunçoku et al., 2015) |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|------|------|-------------------------|
| Malla de acero | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 3 | 1.50 | 1.85 | (Sathiparan, 2015) |
| Fibras sintéticas (banda de polipropileno) | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2.00 | 2.20 | |
| Fibras sintéticas (polipropileno) | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 1.75 | 2.13 | |
| Fibras sintéticas (polipropileno) | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 1.75 | 2.13 | (S. Umair et al., 2015) |
| polímeros reforzados con fibras | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2.00 | 1.30 | |

Apéndice D. Evaluación del impacto ambiental sobre las estrategias de reforzamiento utilizando la IA.

Prompt: Considerando que los procesos de construcción generan impactos ambientales significativos (utilización de recursos), por favor, categoriza las siguientes estrategias de reforzamiento estructural para viviendas de mampostería según su nivel de impacto ambiental y teniendo en cuenta que son de aplicabilidad en un entorno de vulnerabilidad y déficit económico, las categorías serían las siguientes: 1 = Alto impacto ambiental 2 = Medio impacto ambiental 3 = Bajo impacto ambiental)

Resultados obtenidos del análisis de impacto ambiental realizado con ayuda IA ChatGPT y Quillbot.

| Estrategia de reforzamiento | Nivel de impacto ambiental ChatGPT | Nivel de Impacto Ambiental Quillbot |
|---|---|--|
| Ferrocemento | 2 | 2 (Medio) |
| Fibras sintéticas (polipropileno) | 3 | 3 (Bajo) |
| Fibras sintéticas (banda de polipropileno) | 3 | 3 (Bajo) |
| Malla de acero | 2 | 2 (Medio) |
| Anclaje horizontal | 3 | 2 (Medio) |
| Férulas y vendajes | 3 | 3 (Bajo) |
| Lechada reforzada con acero | 2 | 2 (Medio) |
| Polímeros reforzados con fibra (FRP) | 1 | 1 (Alto) |
| Polímeros reforzados con fibras | 1 | 1 (Alto) |
| Aislador de mortero de arena gruesa | 3 | 3 (Bajo) |
| Aisladores elastoméricos con fibras de caucho (FREI) | 1 | 2 (Medio) |
| Amortiguadores de resorte | 1 | 2 (Medio) |
| Bambú | 3 | 3 (Bajo) |

| | | |
|---|---|-----------|
| Bambú + malla de acero | 3 | 3 (Bajo) |
| Banda de acero | 2 | 2 (Medio) |
| Cojines elastoméricos | 1 | 2 (Medio) |
| Ferrocemento + compuestos cementicios | 2 | 2 (Medio) |
| Fibras de carbono | 1 | 1 (Alto) |
| Fibras de caucho | 3 | 3 (Bajo) |
| Fibras de lino + exoesqueleto de madera | 3 | 3 (Bajo) |
| Fibras naturales | 3 | 3 (Bajo) |
| Fibras sintéticas (malla de polipropileno) | 3 | 3 (Bajo) |
| Geomalla industrial | 1 | 3 (Bajo) |
| Hormigón proyectado | 1 | 1 (Alto) |
| Malla de bolsa de cemento | 3 | 2 (Medio) |
| Malla de uso avícola | 3 | 3 (Bajo) |
| Malla electrosoldada | 2 | 2 (Medio) |
| Marcos prefabricados en hormigón | 1 | 1 (Alto) |
| Mortero enlucido | 2 | 3 (Bajo) |
| Mortero reforzado con textiles | 2 | 2 (Medio) |
| Morteros reforzados (TRM) | 2 | 2 (Medio) |
| Paneles de bambú | 3 | 3 (Bajo) |
| Pañete de yeso | 2 | 2 (Medio) |
| Polímeros con fibra de vidrio | 1 | 1 (Alto) |
| Yeso + fibra de vidrio | 2 | 1 (Alto) |
| Yeso y cemento | 2 | 2 (Medio) |

