

REFORZAMIENTO MUROS DE MAMPOSTERÍA EN VIVIENDAS DE LA COMUNA 4
DE LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE PAÑETE CON
MALLA ELECTROSOLDADA



JORGE ENRIQUE BERNAL PÁEZ
EDWIN DAVID ORDUY GARAY



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
VILLAVICENCIO

2026

REFORZAMIENTO MUROS DE MAMPOSTERÍA EN VIVIENDAS DE LA COMUNA 4
DE LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE PAÑETE CON
MALLA ELECTROSOLDADA

JORGE ENRIQUE BERNAL PÁEZ
EDWIN DAVID ORDUY GARAY

Trabajo de grado como requisito para optar el título de Especialista en Estructuras

Asesor

Ing. Mg. JHONATAN AUGUSTO FORERO PABON
Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Gerencia de la Construcción.
Magíster en Cálculo de obras Civiles
Magíster en Ingeniería - Estructuras

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
VILLAVICENCIO

2026

Autoridades académicas

P. Álvaro José Arango Restrepo, O.P.

Rector General

P. Adrián Mauricio García Peñaranda, O.P.

Vicerrector Académico General

P. Luis Antonio Alfonso Vargas, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Juan Francisco Correa Higuera, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea Sierra Tobón

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. Luis Fernando Díaz Cruz

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Dedicatoria

Por nuestra parte, agradecemos con el corazón a nuestros grandiosos padres María Cenia Páez, Julia Isabela Garay, Omar Bernal, Evangelista Orduy por la ayuda brindada en todo momento, puesto que sin ellos la idea de poder siquiera pensar en presentar este documento era nula. Quiero agradecer también a hermana María Elizabeth Bernal, por el compromiso y gratitud sin medidas que se tuvo, por siempre darme apoyo, a la ingeniera Caori Takeuchi por su conocimiento, guía y paciencia para el desarrollo de este proyecto.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por habernos dado la oportunidad de culminar satisfactoriamente esta especialización que nos forma como ingenieros, a nuestros docentes por compartir sus conocimientos durante este largo proceso académico. A todas aquellas personas que aportador de una u otra manera su apoyo incondicional.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	9
Abstract	10
Glosario.....	11
Introducción	13
1. Formulación del problema	14
2. Objetivos.....	15
2.1 General.....	15
2.2 Especifico	15
3. Justificación	16
4. Estado del arte.....	17
5. Metodología	20
5.1 Tipo de investigación	20
5.2 Etapas del estudio	20
5.2.1 Diagnóstico inicial.....	20
5.2.2 Evaluación sin refuerzo	20
5.2.3 Aplicación de refuerzo.	20
5.3 Definición de variables y parámetros de medición.....	20
5.3.1 Rigidez lateral (k).....	21
5.3.2 Deriva de piso (Δ)	21
5.4 Procedimiento de medición y Precisión	21
5.4.1 Diagnóstico inicial.....	21
5.4.2 Evaluación sin refuerzo	26
5.4.3 Aplicación de refuerzo.	31
5.4.4 Evaluación posterior.....	33
6. Análisis de resultados	41
7. Resultados	43
8. Conclusiones y Recomendaciones	44
9. Referencias.....	46

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. <i>Comparativa resistencia inicial y resistencia final de muro.</i>	35
Tabla 2. <i>Comparativa costos de reforzamiento, por autores, 2025.</i>	42

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Posibles fallas presentadas en un muro de mampostería.....	19
Figura 2. Muros de mampostería sin confinamiento	22
Figura 3. Vivienda de 3 niveles que no cuenta con confinamiento, por autores, 2026.	22
Figura 4. Vivienda y local comercial que no cuenta con confinamiento, por autores, 2026.	23
Figura 5. Vivienda que no cuenta con confinamiento, por autores, 2026.	23
Figura 6. Vivienda que no cuenta con confinamiento, por autores, 2026.	24
Figura 7. Vivienda que no cuenta con confinamiento	25
Figura 8. Planta arquitectónica de vivienda en mampostería.	25
Figura 9. Ficha técnica bloque #5.....	26
Figura 10. Parámetros sísmicos, por autores, 2026.	28
Figura 11. Parámetros sísmicos iniciales, por autores, 2026.	28
Figura 12. Modelo de muro en mampostería, por autores, 2026.	29
Figura 13. Espectro de diseño de muros, por autores, 2026.	29
Figura 14. Diseño de muros.....	30
Figura 15. Deriva del muro en sentido débil, por autores, 2026.....	30
Figura 16. Colocación de anclajes para fijación de malla	31
Figura 17. Colocación de primera capa de pañete	31
Figura 18. Colocación de malla y segunda capa de pañete	32
Figura 19. Colocación de tercera capa de pañete.....	32
Figura 20. Vista general de muro reforzado	33
Figura 21. Parámetros sísmicos ajustados, por autores, 2026.	34
Figura 22. Modelo de muro en mampostería, por autores, 2026.	35
Figura 23. Espectro de diseño de muros, por autores, 2026.	36
Figura 24. Deriva del muro reforzado en sentido débil, por autores, 2026.	37
Figura 25. Modelo de vivienda completa, por autores, 2026.	38
Figura 26. Modelo de vivienda deriva final de todo el sistema, por autores, 2026.	39

Resumen

El presente documento propone una solución de reforzamiento para los muros de mampostería no estructural en viviendas ubicadas en la comuna 4 de Villavicencio. Esta técnica consiste en la aplicación de un pañete reforzado con malla electrosoldada por una cara de los muros o en su debido caso ambas. Esta estrategia busca incrementar la capacidad de los muros para resistir sismos de una manera práctica y económica.

El estudio se basa en el análisis in situ como teórico, se realizó un diagnóstico físico estructural de las edificaciones en conjunto con el apoyo de varios artículos científicos-académicos que examinan el comportamiento de la mampostería no confinada y la técnica de reforzamiento eficaz como es el pañete reforzado con malla electrosoldada, que comprueba la capacidad de mejorar la resistencia, rigidez y ductilidad de los muros sin necesidad de realizar modificaciones estructurales costosas.

La metodología de este proyecto se basa en la combinación de la observación directa y el análisis comparativo del desempeño estructural y la evaluación de la viabilidad económica de la técnica. El objetivo es que la propuesta no solo mejore la seguridad sísmica de las viviendas estudiadas, sino que la técnica implementada sirva como referencia para la mejora de vivienda en zonas donde se presente riesgos sísmicos similares.

Palabras Clave: vivienda, mampostería, malla electrosoldada, mortero, zona de amenaza sísmica, reforzamiento, rigidez, ductilidad.

Abstract

This document proposes a reinforcement solution for non-structural masonry walls in homes located in Commune 4 of Villavicencio. This technique consists of applying a welded mesh reinforced wall panel to one side of the wall, or, where appropriate, both. This strategy seeks to increase the walls' ability to withstand earthquakes in a practical and economical manner.

The study is based on in-situ theoretical analysis. A structural physical diagnosis of the buildings was conducted, supported by several scientific and academic articles examining the behavior of unconfined masonry and the effective reinforcement technique of welded mesh reinforced wall panel, which demonstrates its ability to improve the strength, stiffness, and ductility of walls without the need for costly structural modifications.

The methodology of this project is based on a combination of direct observation and comparative analysis of structural performance and an evaluation of the economic feasibility of the technique. The goal is for the proposal to not only improve the seismic safety of the homes studied, but also for the implemented technique to serve as a benchmark for housing improvements in areas with similar seismic risks.

Keywords: *housing, masonry, electro-welded notch, mortar, seismic hazard zone, reinforcement, rigidity, ductility.*

Glosario

Aa: coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño

Av: coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño

AIS 410-23: documento complementario a NSR-10 dentro de los lineamientos de la ley 400 de 1997 para la evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería.

Amenaza sísmica: probabilidad de que una zona experimente movimientos sísmicos con intensidades capaces de afectar estructuras o provocar daños.

Ductilidad: capacidad de un elemento estructural para deformarse sin colapsar, permitiendo disipar energía durante un evento sísmico.

Electrosoldado (malla): tipo de malla metálica conformada por varillas de acero dispuestas en forma ortogonal y unidas por puntos de soldadura eléctrica.

Mampostería: sistema constructivo formado por unidades (bloques, ladrillos, piedras) unidas con mortero, que puede ser estructural o no estructural según su función.

Mampostería no estructural: muros o elementos de mampostería que no están diseñados para resistir cargas estructurales importantes; funcionan como cerramientos.

Modelación estructural: simulación del comportamiento de una estructura mediante herramientas computacionales o analíticas.

Mortero: mezcla de cemento, arena y agua usada como material de unión entre mampuestos o como recubrimiento de muros.

Pañete: capa de mortero aplicada sobre muros, que puede incorporar malla para mejorar su resistencia estructural.

Refuerzo estructural: intervención técnica en elementos existentes para mejorar su resistencia frente a cargas, especialmente sísmicas.

Rigidez: propiedad que permite a un elemento o estructura resistir deformaciones ante la aplicación de cargas.

Zona sísmica: área clasificada por su nivel de amenaza sísmica, considerando actividad tectónica, geología y recurrencia de sismos.

Norma Técnica Colombiana (NTC): conjunto de normas oficiales que regulan los requisitos técnicos de materiales, procesos o productos en Colombia, como la NTC 5806 para mallas electrosoldadas.

NSR-10: norma Sismo Resistente de Colombia vigente, que establece los criterios de diseño y construcción para edificaciones seguras frente a eventos sísmicos.

Reducción de vulnerabilidad: proceso mediante el cual se implementan mejoras técnicas o estructurales que disminuyen el riesgo de daño o colapso de una edificación ante eventos naturales.

R0: coeficiente de capacidad de disipación de energía básico definido para cada sistema estructural y cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural.

Introducción

En Colombia, un gran número de personas reside en viviendas construidas informalmente sin el cumplimiento de normas técnicas, una realidad que se puede encontrar en barrios de escasos recursos como la comuna 4 de Villavicencio. En estas viviendas, los muros de mampostería carecen de elementos de confinamiento (vigas y columnas), lo cual los hace extremadamente susceptibles a sufrir daños debido a movimientos sísmicos, lo que constituye un grave peligro para la seguridad de los residentes.

Varios estudios se han realizado en diferentes países como Ecuador, Perú, México Colombia entre otros, con el fin de examinar el comportamiento de los muros de mampostería, destacando su baja capacidad de resistir fuerzas horizontales con alta probabilidad de colapsar repentinamente. Ante esta situación, han surgido diversas técnicas de reforzamiento que buscan mejorar el desempeño sísmico de estas viviendas de manera económica y práctica.

Entre estas técnicas de reforzamiento sobresale el pañete con malla electrosoldada que se ha consolidado como una alternativa fácil, económica y rápida, demostrando su eficacia para aumentar la rigidez, ductilidad y resistencia de los muros. El propósito de este documento es analizar la viabilidad y el impacto que produce esta técnica de reforzamiento aplicándolas en las viviendas de la comuna 4, con el fin de que esta ayude a reducir la vulnerabilidad sísmica y las viviendas sean más seguras

1. Formulación del problema

En Colombia el fenómeno de la construcción informal representa un riesgo latente para la seguridad de sus ocupantes y la integridad de los entornos urbanos. De acuerdo con los análisis sectoriales, se estima que un 50% de las construcciones inician en condición de informalidad, sin contar con los estudios requeridos en las diferentes regiones del país (Global, 2018). Esta problemática está ligada al déficit habitacional cualitativo presentado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2022), el cual indica que cerca del 26.8 % de las viviendas presentaban un déficit habitacional (DANE, 2025).

En Villavicencio un gran número de viviendas fueron construidas de manera informal y sin supervisión técnica utilizando mampostería no estructural; dichas obras no hacen parte de ningún sistema avalado por NSR-10, ni a sus normas complementarias; al examinar el sector de la comuna 4 se evidencia que la mayoría de las viviendas no están diseñadas para resistir cargas sísmicas y en consecuencia dichas obras representa un gran riesgo para la integridad de las viviendas y la seguridad de quienes las habitan ya que la ciudad está ubicada en una zona de amenaza sísmica alta (TITULO (A-NSR-10, 2010), en comparación a lo informado por el DANE se estima que 3 de cada 10 viviendas no cuentan con los elementos de confinamiento para un buen comportamiento estructural.

Estudios nacionales e internacionales han demostrado que viviendas construidas en mampostería no estructural tienden a fallar de forma frágil pues presentan baja capacidad de deformación plástica y escasa resistencia a fuerzas horizontales. Varias alternativas de reforzamiento son aplicables en estas viviendas, pero muchas resultan costosas o difíciles de ejecutar. Por esta razón es necesario evaluar una alternativa económica, rápida y fácil de ejecutar de reforzar las viviendas sin tener que hacer modificaciones estructurales invasivas.

La ausencia de sistemas estructurales que permitan un buen comportamiento estructural ante fuerzas verticales y horizontales, sumado a los procesos constructivos informales, ha incrementado la vulnerabilidad de estas viviendas. Ante esta problemática se hace necesario implementar una solución técnica de bajo costo y fácil ejecución como es el pañete reforzado con malla electrosoldada, esto con el fin mejorar la capacidad estructural y reducir los riesgos frente a futuros eventos sísmicos.

2. Objetivos

2.1 General

Aplicar técnica de pañete reforzado con malla electrosoldada en muros de mampostería no estructural de viviendas en la comuna 4 de Villavicencio que presentan un déficit habitacional, cuantificando el aumento en la capacidad de resistencia rigidez y reducción de vulnerabilidad sísmica mediante análisis comparativos antes y después del reforzamiento.

2.2 Especifico

- Diagnosticar el estado actual de las viviendas de la comuna 4, identificando deficiencias relacionadas con su resistencia y vulnerabilidad sísmica.
- Evaluar el comportamiento estructural de muros antes y después del reforzamiento, mediante análisis cualitativos y cuantitativos para validar la efectividad de la intervención.
- Implementar una técnica de reforzamiento basada en la utilización de malla electrosoldada con pañete, siguiendo criterios técnicos accesibles y aplicables en el ámbito de mejoramiento de vivienda.
- Analizar la viabilidad económica del sistema de reforzamiento, considerando que el método de intervención es orientado a comunidades vulnerables de bajos recursos ubicados en una zona de amenaza sísmica alta.

3. Justificación

La necesidad de mejorar la seguridad estructural de viviendas vulnerables en zonas de amenaza sísmica alta como es la ciudad de Villavicencio es de gran relevancia, en este contexto el uso de pañete reforzado con malla electrosoldada supone una alternativa viable, accesible y técnicamente comprobada para el reforzamiento de viviendas construidas con mampostería no estructural. Esta técnica cuenta con varios estudios a nivel nacional e internacional pues se logró comprobar que la aplicación de esta no solamente aporta rigidez y resistencia a los muros ante cargas horizontales, sino que también resulta fácil su ejecución y su viabilidad económica.

Implementar esta solución en las viviendas de la comuna 4 no solo contribuiría a reducir la vulnerabilidad sísmica, sino que también puede servir como método de reforzamiento en otras zonas de la ciudad con condiciones similares. Esta monografía se justifica como un aporte técnico, económico y social al mejoramiento habitacional con criterios de seguridad estructural.

4. Estado del arte

El reforzamiento de muros de mampostería que no hacen parte de ningún sistema estructural aprobado por ninguna normatividad colombiana como la NSR-10, cobrado bastante importancia como una estrategia efectiva para mejorar el comportamiento sísmico de viviendas de baja altura especialmente en viviendas que fueron construidas de manera informal en zonas de actividad sísmica alta.

Según Herrera y otros, la mampostería no confinada, a pesar de su amplia utilización histórica debido a la capacidad de resistir cargas de compresión muestra un débil comportamiento para resistir cargas horizontales inducidas por sismos, lo que por consecuencia trae como resultado daños severos o colapsos de las viviendas. Un método que más ha tomado relevancia para este tipo de intervenciones es uso de mortero reforzado con malla electrosoldada embebida a este. Este sistema es de bajo costo y de fácil ejecución (Coelho & Silva , 2023), ya que este tipo de estructura carece de elementos de confinamiento (vigas y columnas) que puedan proveer rigidez y ductilidad suficiente para disipar la energía producida durante un evento sísmico, los que las hace muy propensas a presentar fallas frágiles como es el agrietamiento y el volcamiento de los muros (Herrera, y otros, 2022)

Estudios de casos han sido tomados como referencia para la utilización de este tipo de reforzamiento. En Ecuador, se evaluó el reforzamiento de una vivienda informal armado con malla electrosoldada y pañete, lo cual demostró una efectividad para aumentar la rigidez y la resistencia logrando un desempeño sismorresistente a un costo menor (Herrera, y otros, 2022). En Perú y en otros países andinos reforzaron viviendas existentes en 1998 y durante los eventos sísmicos ocurridos en el año 2001 y 2007 estas viviendas un buen comportamiento estructural en comparación a las viviendas que no fueron reforzadas (San Bartolomé & Quiun, 2015), otro estudio realizado muestra el comportamiento de viviendas construidas con mampostería no estructural que mostraban diversas patologías estructurales y se logró evidenciar un mejor comportamiento estructural y un cumplimiento de la normativa vigente a un bajo costo al reforzar estas viviendas con pañete y malla electrosoldada (Castillo Robles , y otros, 2022). En los barrios populares de Bogotá también se realizó un estudio del desempeño estructural de viviendas en mampostería no estructural en función del cumplimiento de los requisitos mínimos de seguridad estructural y habitabilidad; en este se identifica los criterios normativos que regulan la

vulnerabilidad sísmica en construcciones existentes y la viabilidad de reforzar las viviendas con pañete armado con el fin de mitigar las falencias de las viviendas ((Quitana Ramirez, 2025).

Desde una perspectiva económica en Colombia se analizó la viabilidad de distintos sistemas estructurales en viviendas de interés social, destacando que aquellos que emplean muros de concreto reforzados con mallas presentan ventajas en cuanto a sostenibilidad, costos y rapidez constructiva, esto refuerza la metodología de reforzamiento aplicando mortero reforzado con malla electrosoldada pues desde los aspectos anteriormente nombrados resulta viable su utilización (Carrillo, EcheverrI, & Aperador , 2015)

Desde el ámbito normativo y experimental se subraya la complejidad del comportamiento de la mampostería no confinada bajo cargas de compresión, especialmente por su naturaleza heterogénea. Resaltan la necesidad de avanzar en el entendimiento del diseño de refuerzos para estos sistemas, debido a las limitaciones de los códigos actuales y la dispersión de pruebas experimentales (Abraham, y otros, 2023). Adicionalmente otra investigación emplea el método numérico avanzados (como el Applied Element Method) para evaluar el comportamiento sísmico de edificaciones construidas en mampostería confinada y no confinada. Los hallazgos ratifican la vulnerabilidad de estos sistemas no confinados ante cargas fuera del plano y las intervenciones que mejoren su integridad estructural (Adhikari, 2023)

Para NSR-10 y su anexo complementario AIS 410-23 evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería establece un método alternativo de reforzamiento de viviendas de un piso construidas con muros de mampostería no reforzada en Colombia, específicamente dentro del contexto del programa Mejoramiento Integral de Barrios. Como resultado clave busca reducir significativamente la vulnerabilidad al mejorar significativamente la capacidad estructural de las viviendas (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica , 2023). el anexo respalda el uso de reforzamiento por medio de pañete y malla electrosoldada como una alternativa viable económicamente y fácil de instalar.

Cuando los muros de mampostería carecen de confinamiento adecuado, presentan un refuerzo insuficiente, o incluso no cuentan con refuerzo alguno, es común observar cuatro patrones característicos de agrietamiento que conducen a diferentes formas de falla estructural en dichos muros dentro de los cuales está presente (Diego Fernando, Parra Rojas , & Montaña Gutierrez, , 2009):

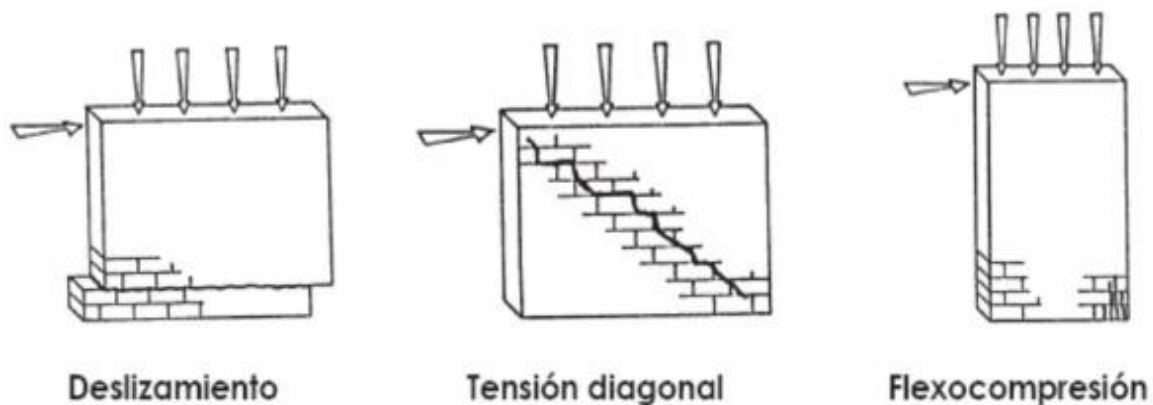
Falla por deslizamiento: se presenta como una falla de adherencia a lo largo de la junta horizontal del mortero.

Falla por corte: se presenta en forma de escalera siguiendo la junta del mortero a lo largo del muro debido a las tensiones o esfuerzos que sufre el muro.

Falla por flexión: se presenta de forma vertical en las esquinas y centro, generalmente en muros esbeltos y que fallan a compresión en la parte inferior del muro.

Falla por aplastamiento: producida por efecto puntal que se produce cuando se separa el muro de los elementos que la confinan, situación que genera grandes tensiones en las esquinas de los muros lo que puede producir este tipo de falla.

Figura 1. Posibles fallas presentadas en un muro de mampostería



Nota: Adoptado de (Diego Fernando Páez Moreno, Sonia Ximena Parra Rojas, Carlos Andrés Montaña Gutiérrez, 2009)

Los ensayos muestran que ante ciertas condiciones los muros de mampostería no reforzada son vulnerables ante esfuerzos fuera de su plano, mientras que en otras condiciones suelen tener mejor desempeño. La poca capacidad de los muros para funcionar fuera del plano puede aumentar considerablemente por medio de la utilización de mallas electrosoldadas con pañete provocando que haya una buena respuesta estructural ante un sismo (Diego Fernando, Parra Rojas , & Montaña Gutierrez, , 2009).

5. Metodología

5.1 Tipo de investigación

Es una investigación aplicada, de enfoque cuantitativo, con diseño experimental.

5.2 Etapas del estudio

5.2.1 *Diagnóstico inicial*

Identificación y caracterización de las viviendas

5.2.2 *Evaluación sin refuerzo*

Determinación de propiedades mecánicas de los muros mediante información obtenida y modelado de un muro con las propiedades obtenidas.

5.2.3 *Aplicación de refuerzo*

Instalación de malla electrosoldada fijada con anclajes expansivos y aplicación de pañete y modelado de un muro con las propiedades obtenidas.

5.3 Definición de variables y parámetros de medición

Para el análisis del comportamiento estructural, se han definido variables cuantitativas que permiten evaluar la eficacia del reforzamiento. La variable independiente corresponde al sistema de intervención, mientras que la variable dependiente, son la capacidad de carga, lateral, desplazamiento máximo y la deriva.

5.3.1 Rigidez lateral (k)

La rigidez se define como la pendiente de la curva carga-desplazamiento en su rango elástico. Representando la capacidad del muro para oponerse a la deformación ante fuerzas horizontales. Se representa mediante la relación:

$$K = \frac{V}{\delta}$$

Donde:

- V : Fuerza cortante basal aplicada en el tope del muro (KN).
- δ : Desplazamiento lateral resultante (mm).

5.3.2 Deriva de piso (Δ)

La deriva es el indicador principal de la vulnerabilidad sísmica según la NSR 10. Representando el desplazamiento relativo de la parte superior del muro con respecto a su base, con respecto a su altura.

$$\Delta(\%) = \left(\frac{\delta_s - \delta_i}{h} \right) * 100$$

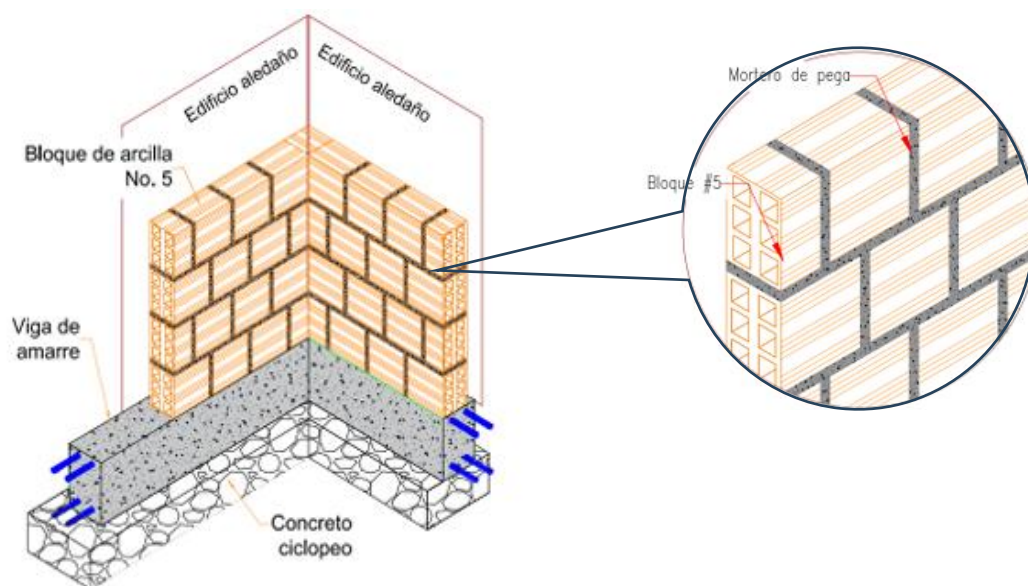
- δ_s : Desplazamiento lateral en el nivel superior (mm).
- δ_i : Desplazamiento lateral en la base (mm). El cual se asume como cero por tener condición de empotramiento.
- h : Altura total del muro (mm).

5.4 Procedimiento de medición y Precisión

Los datos se extraen mediante un análisis estático no lineal en software especializado, lo cual permite simular y obtener las fuerzas registradas en KN y los desplazamientos en (mm), asegurando que los resultados numéricos de rigidez y derivas se reflejen con la mayor exactitud.

5.4.1 Diagnóstico inicial.

Identificación y caracterización de las viviendas.

Figura 2. Muros de mampostería sin confinamiento

Nota: Adaptado de (Cesar Fernando Gamba Tiusaba, 2013)

Figura 3. Vivienda de 3 niveles que no cuenta con confinamiento, por autores, 2026.

Figura 4. *Vivienda y local comercial que no cuenta con confinamiento, por autores, 2025.*



Figura 5. *Vivienda que no cuenta con confinamiento, por autores, 2025.*



Figura 6. *Vivienda que no cuenta con confinamiento, por autores, 2025.*

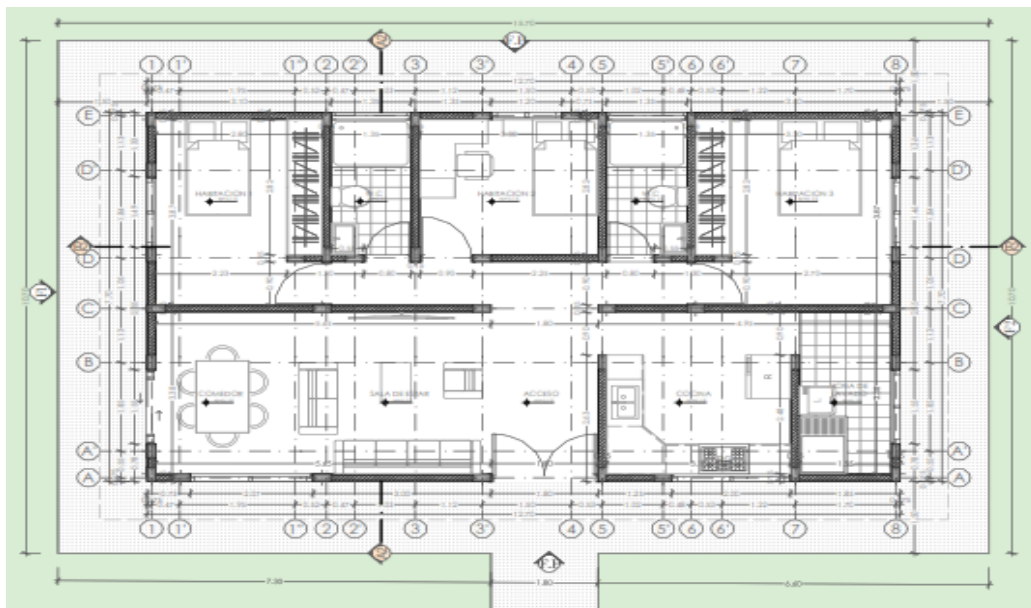


Figura 7. *Vivienda que no cuenta con confinamiento*

Nota: Adaptado de: (Firma compacto S.F.)

Durante la fase exploratoria se encontraron casas que no cuentan con columnas, vigas o ambas, esta exploración se realizó de manera informal por lo tanto nunca se accedió al interior de las viviendas solo lo que se pudo observar desde el exterior.

Sin embargo, con ayuda de la firma compacto de la arquitecta Alejandra cárdenas se obtuvo información de planimetría de una de estas casas.

Figura 8. *Planta arquitectónica de vivienda en mampostería.*

Nota: Adaptado de: (Firma compacto S.F.)

En términos generales las viviendas que no cuentan con un sistema estructural definido suelen corresponder a construcciones ilegales y hechas en zonas populares.

Los sistemas de fundación suelen ser superficiales y principalmente compuesto de una viga de cimentación apoyada sobre concreto ciclópeo a una profundidad no mayor de 60 cm

5.4.2 Evaluación sin refuerzo

Determinación de propiedades mecánicas de los muros mediante simulaciones. Por medio del software RCB se realizó la modelación de la vivienda considerando las propiedades de un bloque #5 según ficha técnica de la marca de bloques más común en la región.

Figura 9. Ficha técnica bloque #5.

BLOQUE # 5			
ESPECIFICACIONES TECNICAS			
Dimensiones	Largo	Ancho	Alto
	33,0 cm	11,5 cm	23,0 cm
Tolerancia Dimensional	± 6 mm	± 3 mm	± 6 mm
Color	TERRACOTA CLARO (Según muestras) El color varía dentro de una gama similar a la que se observa en la foto de aplicación		
Textura	ESTRIADO POR SUS CUATRO (4) CARAS		
Paredes y Perimetrales	+ 10,0 mm	Tabiques	+ 8,5 mm
Peso / Unidad	6,2 kg. (Aprox.)		
Rendimiento con dilatación de 1cm	12,25 Unidades/m ²		
Peso / m ²	75,95 Kg/m ² de muro		
Aplicación	Muros Divisorios		
	Mampostería De Muros Confinados y Mampostería de Cavidad Reforzada Ver anexo con los detalles de aplicación correcta y las piezas complementarias		
Clasificación	Tipo PH		
	Unidad de Mampostería de Perforación Horizontal		
Resistencia a la compresión (Minima)	Promedio 5 Unidades		Individual
	3,0 Mpa (30 Kg/cm ²)		2,0 Mpa (20 Kg/cm ²)
Absorción de Agua (Maxima)	13%		14%
	NTC 4205-2		
Normas Aplicadas	AIS		
	NSR 10		
	ASTM		
	C56, C212, C216		

Nota: Adaptado de (Catalogo Bloques Santafé)

Datos generales mampostería estructural

Estimación del valor de $f'm$ basado en la resistencia de los materiales D.3.7.5

Ladrillo Estructural de perforación Horizontal

Tipo Mortero de Pega **N**

$$\begin{aligned} f'_{cu} &= 20 \text{ Kg/cm}^2 & h &= 23 \text{ cm} \\ f'_{cp} &= 75 \text{ Kg/cm}^2 & L &= 33 \text{ cm} \end{aligned}$$

Material de las Unidades **Arcilla**

$$Kp = 0.8$$

$$Rm = \left(\frac{2h}{75 + 3h} \right) f'_{cu} + \left(\frac{50Kp}{75 + 3h} \right) f'_{cp} \leq 0.8 f'_{cu}$$

$$Rm = 13.362 \text{ Kg/cm}^2$$

Para muros con todas las celdas vacías

$$f'm = 0.75 * Rm$$

$$f'm_{cv} = 10.02 \text{ Kg/cm}^2$$

Modulo de Elasticidad de la Mamposteria

Para unidades de arcilla :

$$Em = 750 * f'm \leq 20000 \text{ MPa}$$

$$Em = 7516.3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Gm = 3006.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Considerando un mortero de pega crítico, se establecen todas las propiedades necesarias para ingresar los datos al modelo matemático.

Nota: Los datos ingresados al modelo son en base a los requisitos mínimos exigidos por NSR-10 título D.

Figura 10. *Parámetros sísmicos, por autores, 2025.*

Localización

Departamento

Meta

Municipio

Villavicencio

Zona sísmica

Dirección:

Grupo de uso y coeficiente de importancia

Grupo de uso:

I

Coeficiente de importancia [I]:

1.0

Descripción:

Zona de amenaza sísmica

Alta

Es el conjunto de lugares en donde Aa o Av, o ambos son mayores a 0.20.

Coeficientes

Aa

0.35

Ad

0.07

Fa

1.15

Av

0.3

Ae

0.2

Fv

1.8

A0

0.4025

Ver Tabla

Periodos característicos del espectro elástico (NSR 10 - A.2.6.1)

T0=(0.1·Av·Fv)/(Aa·Fa)=

0.13

(Véase A.2.6)

Tc=(0.48·Av·Fv)/(Aa·Fa)=

0.64

(Véase A.2.6)

TL=(2.40·Fv)=

4.32

(Véase A.2.6)

Perfil del suelo

D

Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante Ver Tabla A.2.4-1

Figura A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g

Curva - Diseño Curva - Umbral Curva - Seguridad Limitada

Figura 11. *Parámetros sísmicos iniciales, por autores, 2025.*

SEISMIC PARAMETERS

Eff. peak acceleration & veloc., Aa =

0.35

 Av =

0.30

Region:

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Aa or Av 0.50 0.45 0.40 0.35 0.30 0.25 0.20 0.15 0.10 0.05

LOCATION

Aa Av Menace

Barranquilla, Cartagena, San Andres, Valledupar 0.10 0.10 Low

Bogota, Medellin 0.15 0.20 Inter

Armenia, Bucaramanga, Cali, Manizalez, Pereira 0.25 0.25 High

Cucuta, Villavicencio 0.35 0.30 High

Quibdo 0.35 0.35 High

Importance coefficient, I

1.0

GROUP

COEFFICIENT

IV - Essential facilities 1.50

III- Public assistance facilities 1.25

II - Especial occupancy buildings 1.10

I - Normal occupancy buildings 1.00

Site profile type, S

D

TYPE SOIL PROFILE TYPE Shear Wave Velocity

A Hard Rock > 1500 m/s

B Rock 1500 - 760 m/s

C Very Dense Soil & Soft Rock 760 - 360 m/s

D Stiff Soil Profile 360 - 180 m/s

E Soft Soil Profile < 180 m/s

F Soils requiring site-specific evaluations

X-direction Y-direction

Seismic Force-resisting system = A: Wall A: Wall

Energy Dissipation Coefficient, Ro =

2

4

Computed fundamental period (sec) = 1.073 .029

I = 0.1 N = .1 .1

Ta = Ct (Hn)^x = 0.049 H % 0.049 H %

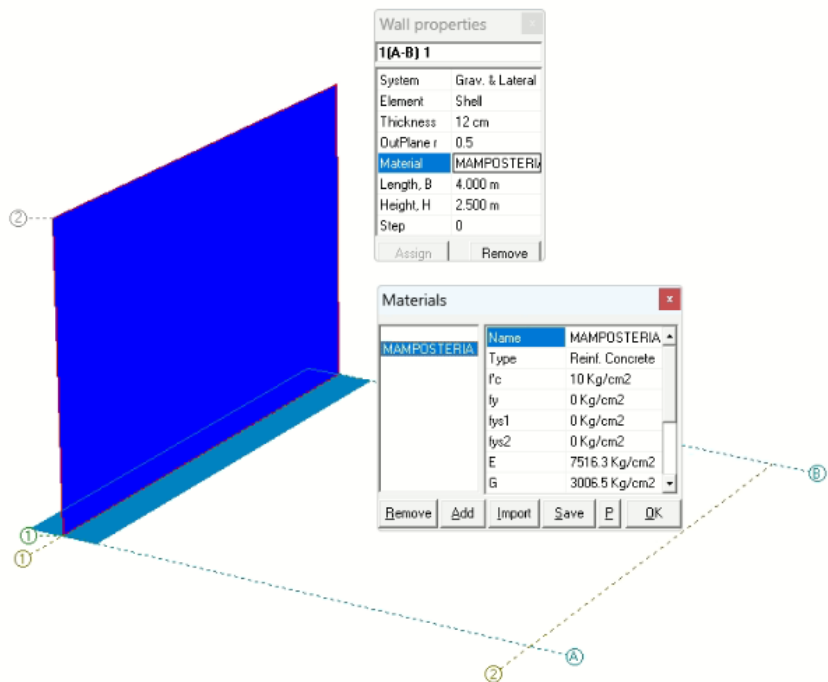
= .1 .1

*Tmax: 1.7 Ta = .17 .17

*Tmax = Cu Ta

Cu = 1.75 - 1.2 Av Fv >= 1.2

Figura 12. Modelo de muro en mampostería, por autores, 2025.



Al aplicar los valores de parámetros sísmicos para realizar el análisis de muro se obtiene el siguiente espectro de diseño de los muros.

Figura 13. Espectro de diseño de muros, por autores, 2025.

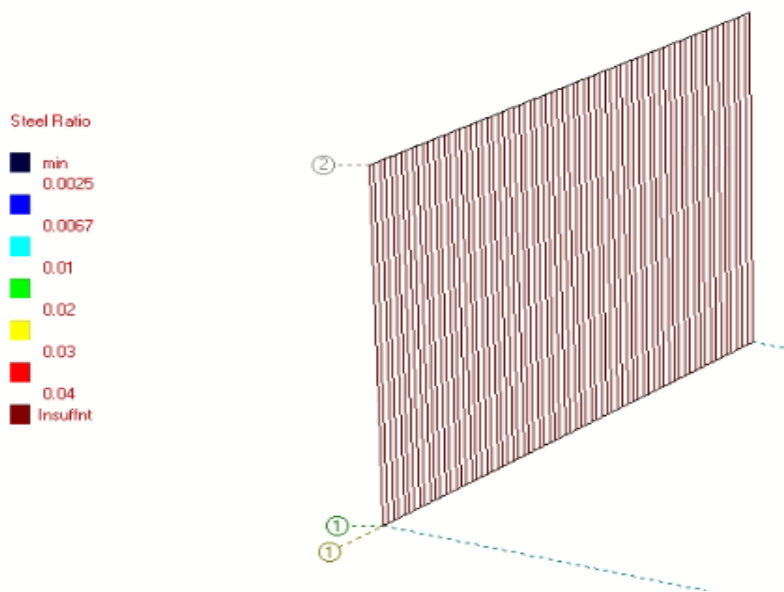


Figura 14. Diseño de muros

Design Results - Walls (DES)

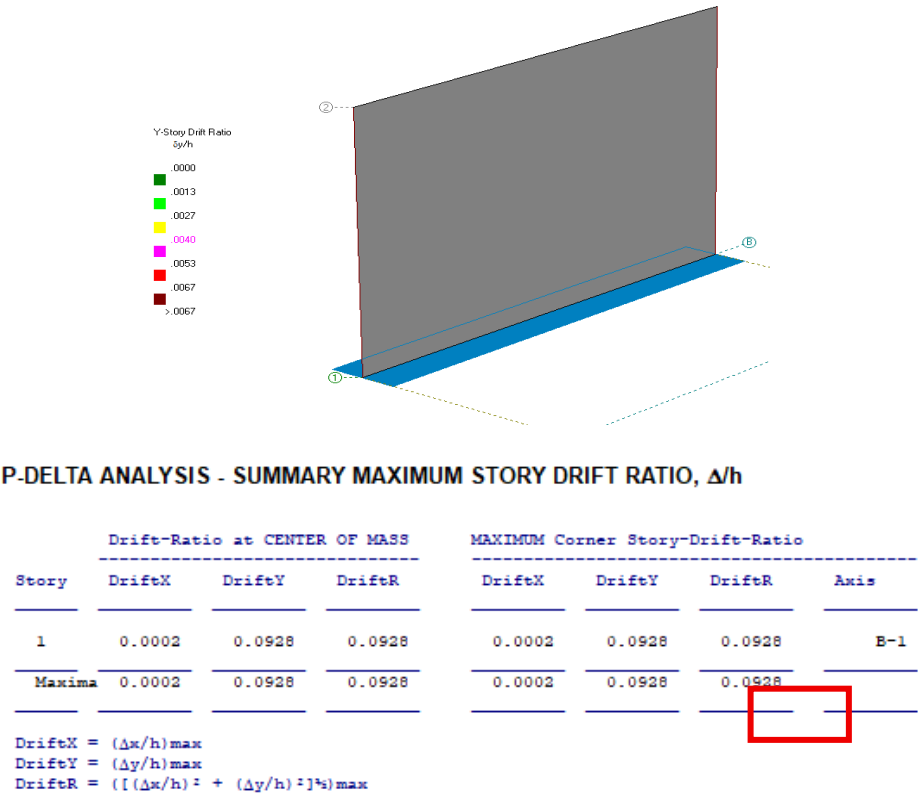
NOTE: Shear Walls are designed according to NSR-10 including confinement provisions of ACI318-14
Method selected for design of boundary elements: Displacement-based method
Height of plastic zone: Larger of L_w and $M_u/4V_u$ (L_w : Individual wall length)
Provisions for confinement above plastic zone to prevent compression failure were considered
Boundary elements were extended vertically above hinge area until $f_{max}/f'_c < 0.3$

Wall	Story	B (m)	H (m)	t (cm)	Mat	HORIZONTAL REINFORCEMENT			VERTICAL REINFORCEMENT						
						LCmb crit	Vu (ton)	Reinforcement	LCmb crit	Pu (ton)	Mu2 (ton-m)	As tot (cm2)	As ctr (cm2)	As end (cm2)	Ends
B(1-2)	1	4.00	2.50	20.0	1	3	2.47	2Ly#3@28 .0025	1	4.19	0.84	Insufficient	Section		-

Nota: Los autores, 2026

Se puede evidenciar al simular un muro de mampostería con las mismas características de las que está compuesta las viviendas este muro no es capaz de resistir las solicitaciones producidas por fuerzas sísmicas.

Figura 15. Deriva del muro en sentido débil, por autores, 2025.



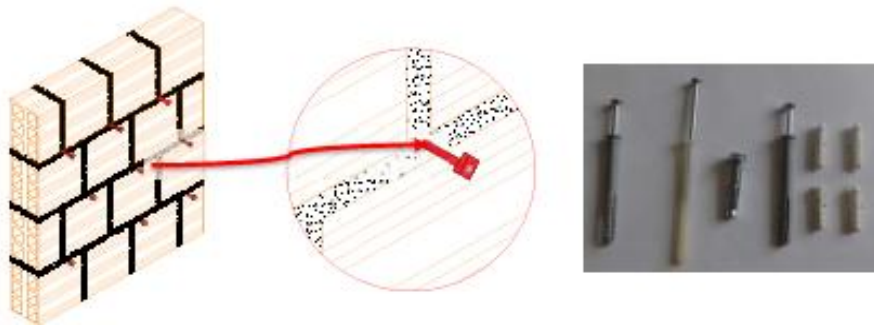
De la misma manera se evidencia desplazamientos excesivos en el eje débil del muro por lo tanto esta no cumple la deriva máxima permitida para muros de mampostería que corresponde a 0.5% según A.6.4 de NSR-10.

Un punto clave de esta revisión es que se realiza sobre un muro suelto, lo cual representa la condición más crítica en las viviendas sin embargo se aclara que para estructuras de un solo nivel no hay un límite de deriva sin embargo para los diseñadores es de costumbre estar puntualmente sobre el límite o estar excedidos 1%.

5.4.3 Aplicación de refuerzo

Instalación de malla electrosoldada fijada con anclajes expansivos y aplicación de pañete.

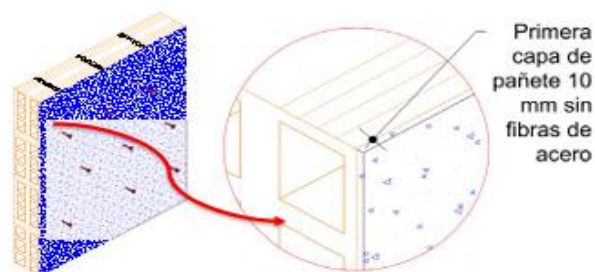
Figura 16. Colocación de anclajes para fijación de malla



Nota: Adaptado de (Cesar Fernando Gamba Tiusaba, 2013)

Para este proceso se insertan anclajes expansivos de acero de diámetro 3/16" con una longitud de 3".

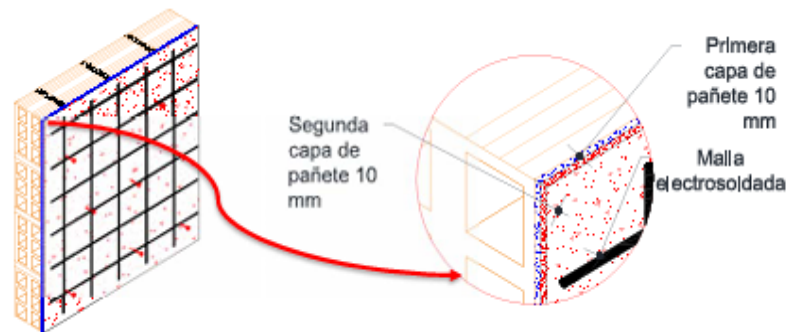
Figura 17. Colocación de primera capa de pañete



Nota: Adaptado de (Cesar Fernando Gamba Tiusaba, 2013)

Posterior a la instalación de los anclajes se coloca un mortero de 1 cm de espesor que funcionara como imprimación de la superficie.

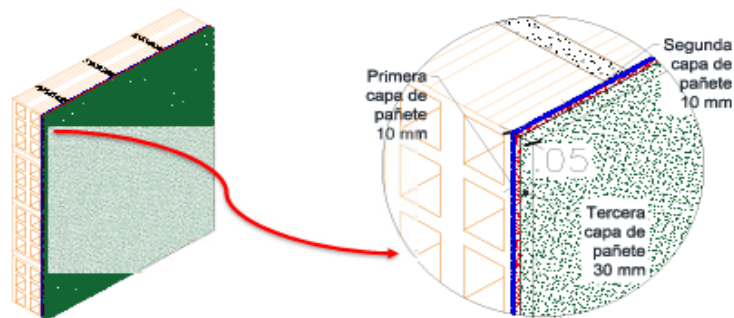
Figura 18. Colocación de malla y segunda capa de pañete



Nota: Adaptado de (Cesar Fernando Gamba Tiusaba, 2013)

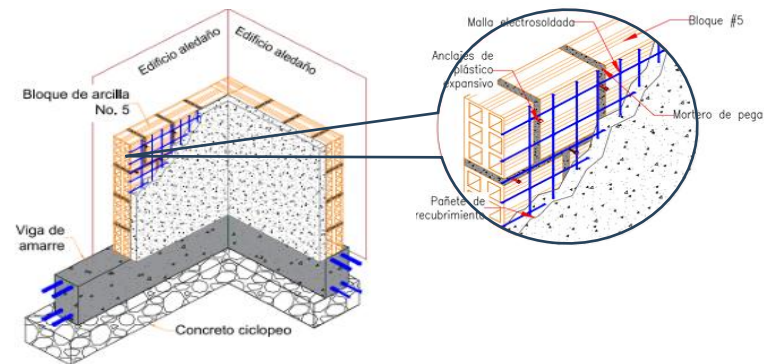
Una vez puesta la primera capa se coloca la malla electrosoldada y posterior la segunda capa de pañete de 1 cm de espesor que va recubrir la malla.

Figura 19. Colocación de tercera capa de pañete



Nota: Adaptado de (Cesar Fernando Gamba Tiusaba, 2013)

Para finalizar se coloca una capa de 3 cm de pañete adicional a las dos primeras capas. Conformando así el reforzamiento del muro.

Figura 20. *Vista general de muro reforzado*

Nota: Adaptado de (Cesar Fernando Gamba Tiusaba, 2013)

5.4.4 Evaluación posterior.

Análisis comparativo del comportamiento mecánico después del reforzamiento por medio de simulación

Figura 21. *Parámetros sísmicos ajustados, por autores, 2025.*

S E I S M I C P A R A M E T E R S

Eff. peak acceleration & veloc., Aa = Av =

Region:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Aa or Av	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

LOCATION	Aa	Av	Menace
Barranquilla, Cartagena, San Andres, Valledupar	0.10	0.10	Low
Bogota, Medellin	0.15	0.20	Interm
Armenia, Bucaramanga, Cali, Manizalez, Pereira	0.25	0.25	High
Cucuta, Villavicencio	0.35	0.30	High
Quibdo	0.35	0.35	High

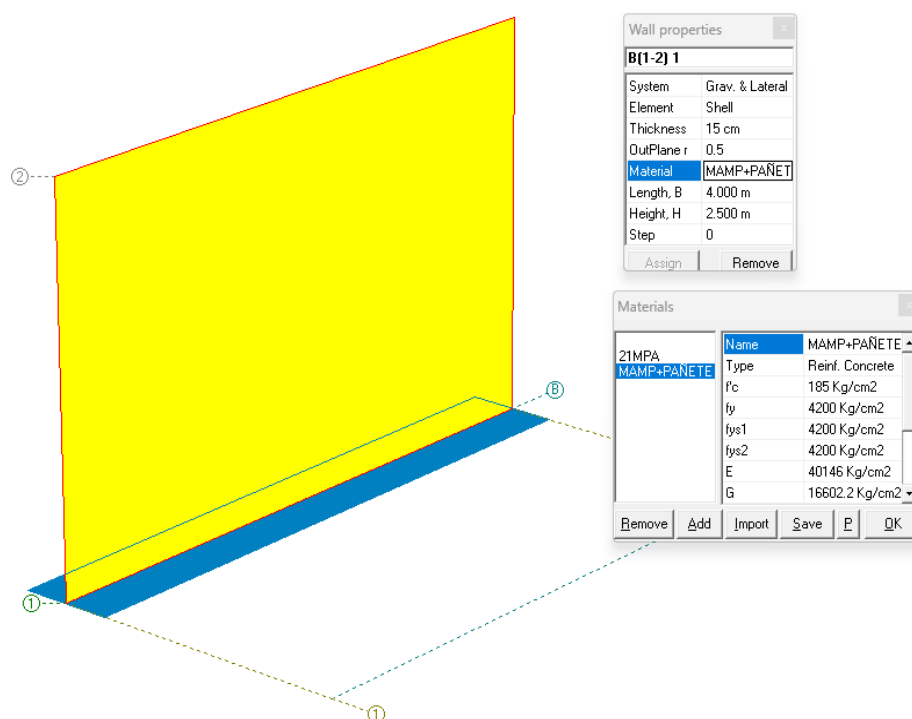
Importance coefficient, I =

GROUP	COEFFICIENT
IV - Essential facilities	1.50
III- Public assistance facilities	1.25
II - Especial occupancy buildings	1.10
I - Normal occupancy buildings	1.00

Site profile type, S =

TYPE	SOIL PROFILE TYPE	Shear Wave Velocity
A	Hard Rock	> 1500 m/s
B	Rock	1500 - 760 m/s
C	Very Dense Soil & Soft Rock	760 - 360 m/s
D	Stiff Soil Profile	360 - 180 m/s
E	Soft Soil Profile	< 180 m/s
F	Soils requiring site-specific evaluations	

	X-direction	Y-direction
Seismic Force-resisting system	= A: Wall	A: Wall
Energy Dissipation Coefficient, Ro	= 1	1
Computed fundamental period (sec)	= 1.071	.029
T = 0.1 N	= .1	.1
Ta = Ct (Hn)^x	= 0.049 H %	0.049 H %
	= .1	.1
*Tmax: 1.7 Ta	= .17	.17
*Tmax = Cu Ta		
Cu = 1.75 - 1.2 Av Fv	>= 1.2	
Fundamental period, T	= .17	.029

Figura 22. *Modelo de muro en mampostería, por autores, 2025.*

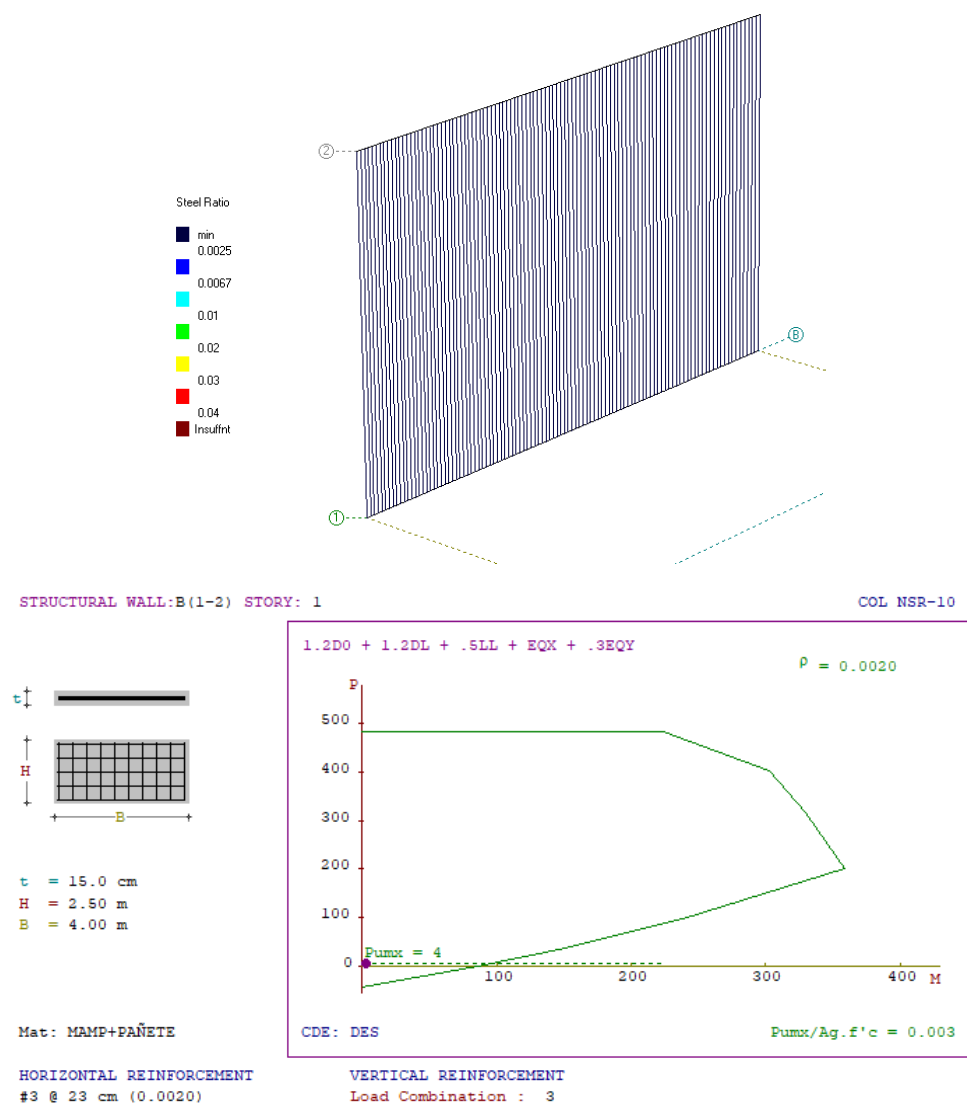
En esta fase se evalúa el aporte de la malla electrosoldada y el pañete a la resistencia final del muro.

Tabla 1. *Comparativa resistencia inicial y resistencia final de muro.*

	ESPEJOR	RESISTENCIA INICIAL	ESPEJOR	RESISTENCIA NUEVA	ESPEJOR	RESISTENCIA FINAL
Resistencia a compresión (f')	12 cm	1.00 MPa	3 cm	17.50 MPa	15 cm	18.50 MPa
Módulo de elasticidad (E)	-	751.63 MPa	-	3262.97 MPa	-	4014.60 MPa
Resistencia al corte (G)	-	300.65 MPa	-	1359.57 MPa	-	1660.22 MPa
Acero de refuerzo	-	0.00 MPa	-	420.00 MPa	-	420.00 MPa

Nota: solo se considera el aporte 20% en E y G ya que el espesor del pañete es de 3cm

Al aplicar los valores de parámetros sísmicos para realizar el análisis de muro se obtiene el siguiente espectro de diseño de los muros.

Figura 23. Espectro de diseño de muros, por autores, 2025.

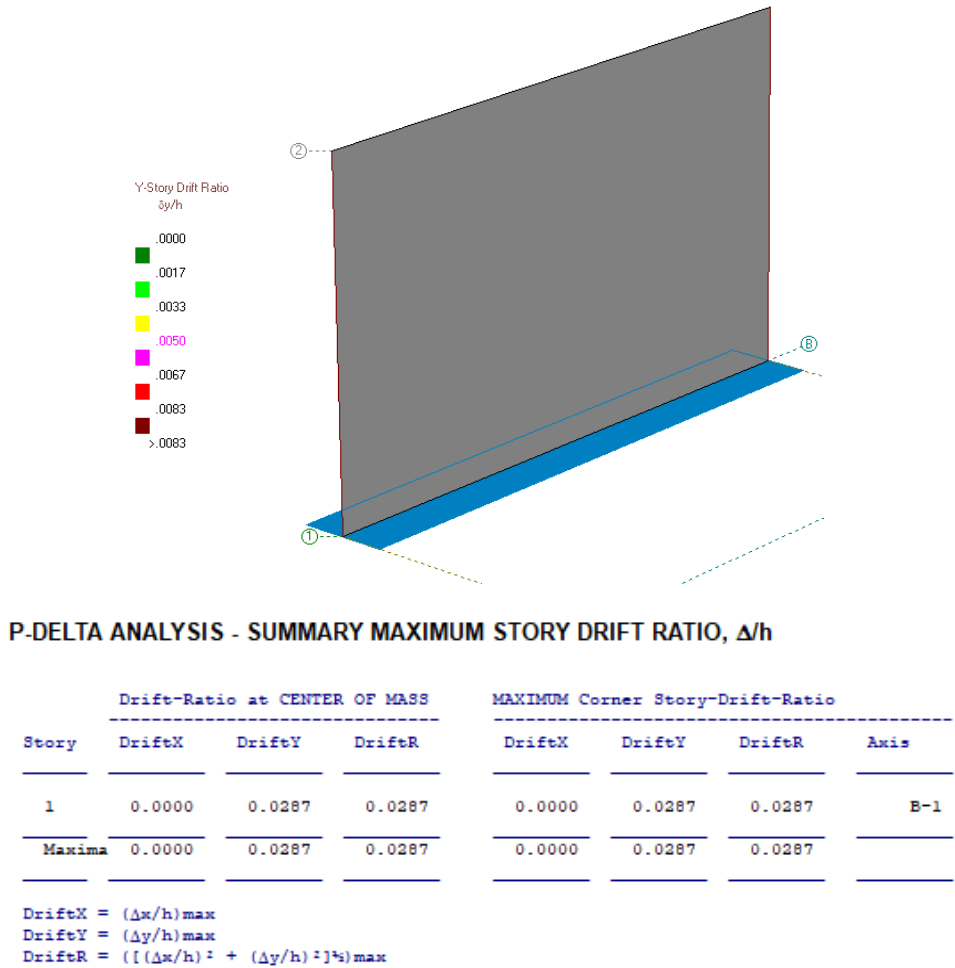
		Geometría Muro			Concreto	Elemento de Borde		Cuantia	
MURO PLANO	NIVEL	B(Longitud)	H (Altura)	t(Espesor)		X (Long. Elem. Borde)	t (Espesor Elemento Borde)	ρ Tranver	ρ Cen
M-1	1	4.00 m	2.50 m	3.00 cm	17.50 MPa	0.00 cm	0.00 cm	0.0020	0.0020

Refuerzo Transversal				Refuerzo Vertical			
As Requ	Capas	Refuerzo	As Sumis	As Requ	Capas	Refuerzo	As Sumis
0.60 cm ² /m	1	ø6.0mm c/15	1.89 cm ² /m	0.60 cm ² /m	1	ø6.0mm c/15	1.89 cm ² /m

Aplicando la cuantía de diseño se evidencia que para el espesor efectivo del pañete la utilización de malla electrosoldada de $\varnothing 6.00\text{mm c/15}$ es funcional.

Se evidencia que al simular un muro de mampostería considerando el reforzamiento este se comporta de manera adecuada en función de las solicitaciones aplicadas. Cabe recalcar que esto no soluciona el asunto de las derivas sin embargo al rigidizar en sentido X se va a presentar una mejoría.

Figura 24. Deriva del muro reforzado en sentido débil, por autores, 2025.



Se logra evidenciar una mejoría en los desplazamientos del muro en el eje débil, sin embargo, la deriva máxima permitida para muros de mampostería que corresponde a 0.5% según A.6.4 de NSR-10.

Cabe recalcar que para edificaciones de un solo nivel no hay un límite de deriva sin embargo como anteriormente se nombró; como diseñadores permitimos que la estructura se desplace más del límite permitido y vemos que al reforzar el muro la deriva pasa de 0.0928 a

0.0267. esto en condiciones críticas. es decir, simulando el muro solo en una dirección puesto que en la realidad las viviendas presentan una configuración de muros en dirección X y Y lo cual permite un control en los desplazamientos que al final se verá reflejado en desplazamientos totales adecuados dentro de los límites permitidos.

Figura 25. Modelo de vivienda completa, por autores, 2025.

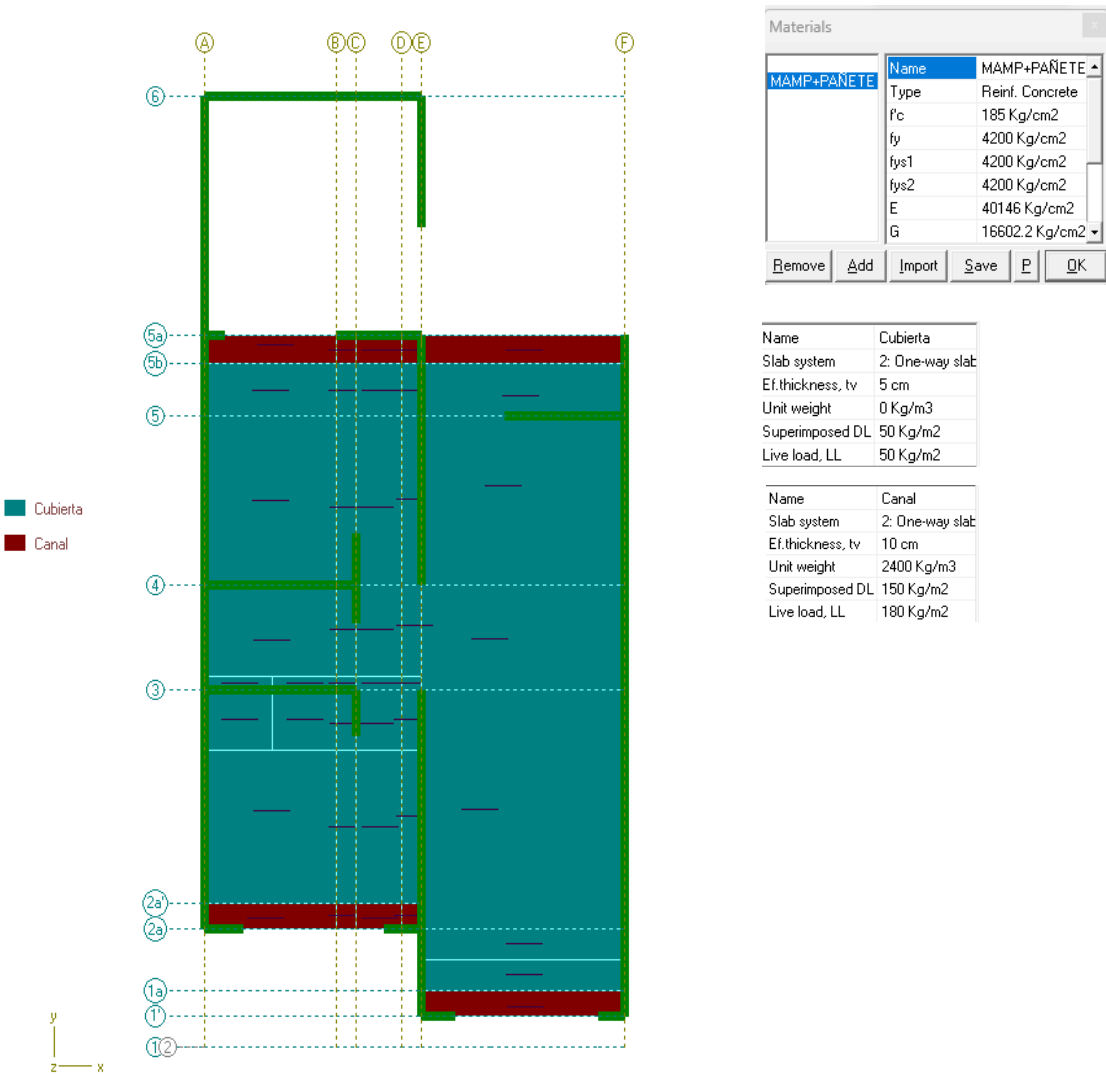
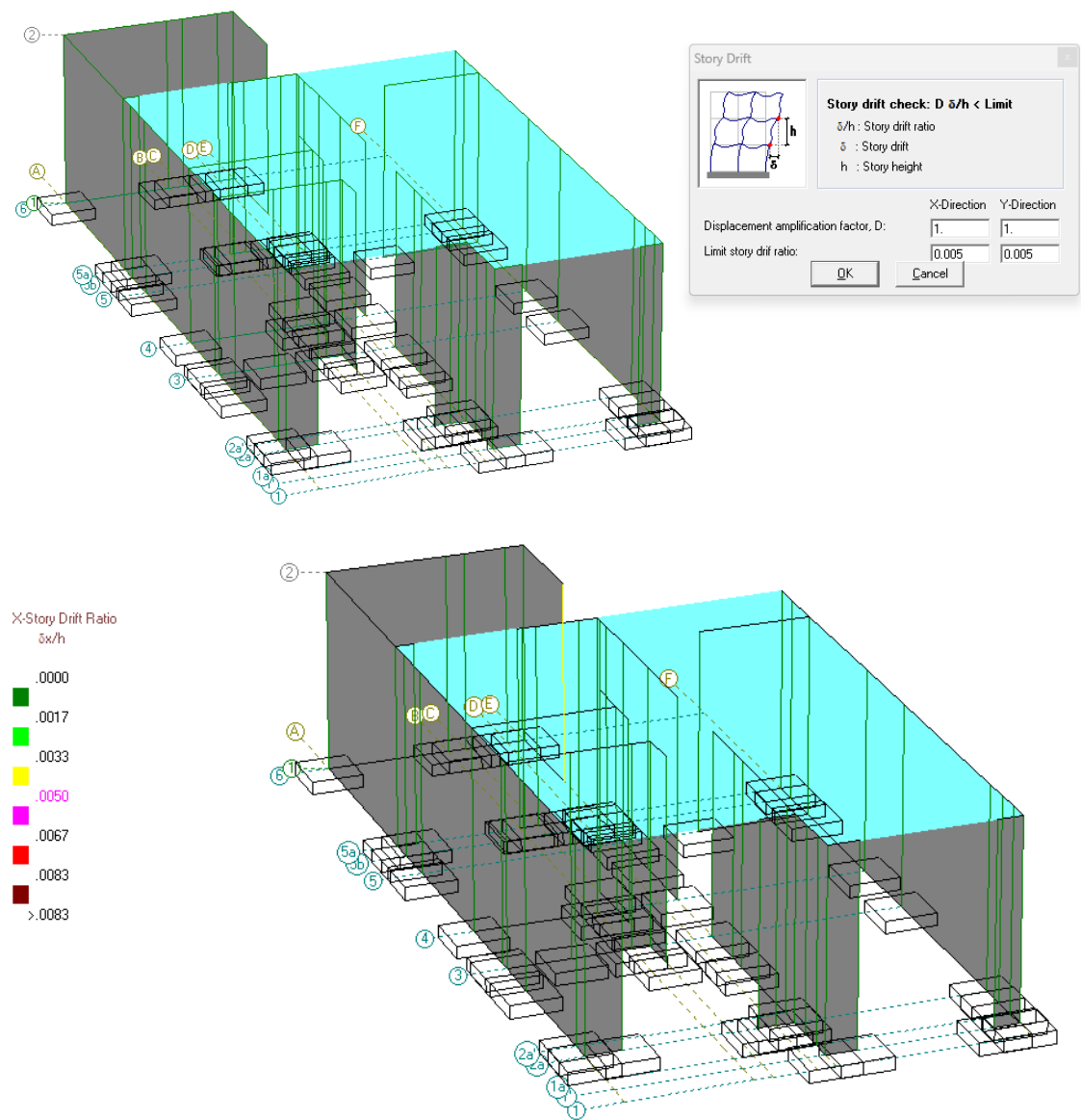


Figura 26. Modelo de vivienda deriva final de todo el sistema, por autores, 2025.



P-DELTA ANALYSIS - SUMMARY MAXIMUM STORY DRIFT RATIO, Δ/h

Story	Drift-Ratio at CENTER OF MASS			MAXIMUM Corner Story-Drift-Ratio			
	DriftX	DriftY	DriftR	DriftX	DriftY	DriftR	Axis
1	0.0003	0.0001	0.0003	0.0050	0.0025	0.0050	E:5ab
Maxima	0.0003	0.0001	0.0003	0.0050	0.0025	0.0050	

DriftX = (Δx/h)max
DriftY = (Δy/h)max
DriftR = [(Δx/h)² + (Δy/h)²]^{1/2}max

Se observa que todos los muros conforman un sistema el cual presenta un desplazamiento final permitido.

Una de las razones del mejoramiento ante desplazamientos horizontales es debido al aumento en el módulo de elasticidad producido por el pañete reforzado. A mayor módulo de elasticidad mayor rigidez tendrá el sistema

El método de análisis utilizado para la revisión del muro fue por fuerza horizontal equivalente (FHE) siendo este un método conservador y permitido por NSR-10

6. Análisis de resultados

Para la obtención de los resultados es necesario considerar los requisitos normativos, para el caso se aplica requisitos de NSR-10 y AIS 410-23. Si bien es cierto las viviendas cuentan con apariencia de pertenecer al sistema estructural de muros de mampostería confinada estos no cumplen los requisitos mínimos, sin embargo, en la primera simulación se aplica el valor de $R_0=2.00$ correspondiente al sistema de muros de mampostería confinada acorde a Tabla A.3-1 de NSR-10 y no se aplica reducción de A_a y A_v según A.10.3.4 de NSR-10, puesto que por inspección visual se observa que las viviendas no tienen una estructura que haga parte de un sistema de resistencia sísmica y directamente se entiende que la estructura no es funcional.

Al realizar el reforzamiento se aplica la guía técnica de AIS 410-23 por lo tanto se ajusta el valor de $R_0=1.00$, el cual pertenece a sistema de muros de carga (a. muros de mampostería no reforzada (MNR), con algunos muros confinados y/o intervenidos con revoques con malla electrosoldada). la resistencia a la compresión del bloque se calcula en base a la ficha técnica del producto pero también considerando especificaciones del capítulo 4 de AIS 410-23 y título D de NSR-10, para el mortero de pega sucede lo mismo se considera el existente de 7.5MPa perteneciente a uno tipo N para recrear la condición más crítica y se aplica un pañete de muro con una resistencia de 17.5 MPa perteneciente a un mortero tipo M superior al mínimo establecido por AIS 410-23 en tabla 4.3-1 que es de 10MPa, en cuanto a la malla electrosoldada se establece una de $\varnothing 6.00\text{mm}$ c/.15 con un f_y de 420MPa acorde a NTC 5806 y a AIS-410-23. Los valores de A_a y A_v en esta ocasión si se ingresan reducidos.

Como se pudo observar en la imagen 20 espectro del modelo reforzado los índices de sobre esfuerzo no son superiores para indicar que el muro tiene una sección insuficiente como si sucedió en el primer análisis que solamente tiene las propiedades del mortero de pega y el bloque de arcilla.

Lo cual corrobora que los estudios realizados en los artículos y demás textos sobre el cual se basó esta monografía son efectivamente funcionales.

En cuanto a los costos de intervención se hace la comparativa ante otros tipos de técnicas de reforzamiento.

Tabla 2. *Comparativa costos de reforzamiento, por autores, 2025.*

Técnica de reforzamiento	Materiales principales	Costo aproximado (COP/m²)	Ventajas	Desventajas
Pañete con malla electrosoldada (una cara)	Malla Ø6 mm, mortero (1:4), anclajes metálicos	\$70.000 – \$90.000	Bajo costo, fácil aplicación, mejora rigidez y ductilidad	No refuerza completamente si se aplica solo en una cara
Pañete con malla electrosoldada (ambas caras)	Igual que anterior (x2), más mano de obra adicional	\$130.000 – \$160.000	Mayor simetría en refuerzo, control de pandeo fuera del plano	Requiere mayor tiempo y cuidado en adherencia y alineación
Confinamiento con columnas y vigas en concreto	Acero corrugado, concreto f ^c =21 MPa, formaletas	\$250.000 – \$320.000	Refuerzo estructural completo, mejora conexiones y confinamiento	Requiere demolición parcial, más invasiva, mayor tiempo de ejecución
Refuerzo con marcos metálicos internos o externos	Ángulos o canales de acero, pernos, soldadura, pintura anticorrosiva	\$300.000 – \$400.000	Muy eficaz para cargas laterales, solución técnica validada	Costo elevado, requiere mano de obra calificada
Fibras (FRP o GFRP adheridas a muro)	Láminas de fibra, resina epóxica, imprimante	\$400.000 – \$600.000	Ligero, no incrementa sección, buen comportamiento estructural	Muy costoso, requiere condiciones de aplicación controladas

Ante este aspecto también resulta viable reforzar viviendas con este método ya que resulta ser económico en comparación a otros métodos que también son funcionales, pero no prácticos ni económicos.

7. Resultados

Mejora en el comportamiento estructural: Los muros de mampostería reforzados con pañete y malla electrosoldada muestran un incremento significativo en la rigidez y capacidad resistente, lo cual reduce notablemente el riesgo de colapso ante eventos sísmicos.

Validación por simulación: El modelo estructural realizado con el software RCB validó que la técnica de reforzamiento aumenta la capacidad del muro para resistir las cargas sísmicas. En comparación con los muros no reforzados, los reforzados no presentaron fallas por sobreesfuerzo en las simulaciones.

Reducción de la vulnerabilidad sísmica: Las viviendas ubicadas en la comuna 4 de Villavicencio, al no contar con sistemas estructurales formales, tienen alta vulnerabilidad. El refuerzo propuesto reduce esta vulnerabilidad sin modificar estructuralmente las viviendas.

Viabilidad económica y técnica: La técnica es de bajo costo, fácil de aplicar y no requiere mano de obra especializada, lo que la hace viable para comunidades de bajos recursos.

Cumplimiento normativo: El método de reforzamiento está respaldado por la NSR-10 y el anexo técnico AIS 410-23, lo que le da soporte normativo y técnico para su implementación en Colombia.

Resultados consistentes con estudios nacionales e internacionales: Los resultados de este trabajo son coherentes con investigaciones realizadas en Ecuador, Perú, México y Colombia, que también demuestran la eficacia de la técnica para mejorar la respuesta sísmica de viviendas informales.

Aplicabilidad: La metodología de reforzamiento implementada puede replicarse en otras zonas del país o regiones con similares condiciones sísmicas y sociales, promoviendo la resiliencia urbana y el mejoramiento del hábitat popular.

8. Conclusiones y Recomendaciones

Se obtiene una mayor resistencia de los muros reforzados con pañete y malla electrosoldada a comparación de los que no. Validando analíticamente que el refuerzo propuesto permite que viviendas originalmente vulnerables lleguen a cumplir algunos criterios de la NSR 10, subsanando o reforzando las patologías presentadas por los procesos constructivos inadecuados, llevando el muro a cumplir una deriva inferior del 0.5%.

A diferencia de los muros reforzados en la simulación evidencia que el muro en toda su longitud cuando no estaba reforzado básicamente da indicios de una falla súbita pues la sección era insuficiente para soportar las solicitaciones.

A partir del análisis documental y técnico de los artículos y documentos escritos sobre el cual se basó la presente monografía se evidencia que este tipo de reforzamiento es eficiente, viable económicamente y de fácil implementación sin necesidad de realizar modificaciones invasivas en las viviendas.

Los estudios realizados en diversos países arrojan los mismos resultados independientemente de la zona el método de reforzamiento demuestra efectividad. Con esta monografía se propone un esquema de intervención simplificado adaptado para nuestro país, permitiendo determinar una sección mínima compuesta que garantiza la estabilidad sin necesidad de demoliciones ni grandes intervenciones, permitiendo analíticamente igualar los resultados de los diversos estudios a nivel internacional.

Los materiales para ejecutar el reforzamiento también son de fácil adquisición y no requieren de un personal especializado para ejecutar el reforzamiento.

La modelación en el software RCB permitió validar que, al incorporarse las propiedades de mortero y malla electrosoldada, la capacidad de los muros aumenta considerablemente disminuyendo el riesgo de colapso en un evento sísmico.

Este tipo de reforzamiento está avalado por la AIS 410-23 por lo tanto cuenta con una normativa y unos procedimientos estandarizados a nivel nacional, la propuesta de reforzamiento no solamente puede ser aplicado en la comuna 4 de Villavicencio si no que también puede extenderse a nivel municipal y nacional

La aplicación de esta técnica solo es para viviendas que han sido construidas de manera informal que no cuentan con un sistema estructural definido.

Antes de ejecutar el reforzamiento se debe hacer una inspección visual total de la vivienda, para verificar que los muros no presenten daños estructurales que comprometan la funcionalidad del reforzamiento.

Es necesario divulgar información y capacitar la mano de obra local para que se enteren de alternativas de reforzamiento más prácticas

La recopilación de datos, inspecciones visuales, apiques, ensayos destructivos y no destructivos son indispensables para realizar una vulnerabilidad más completa pues entre más información se obtenga mejor serán los resultados del reforzamiento

Una opción recomendable para realizar una inspección para ver la existencia de elementos es con un escáner de materiales con el fin de tener certeza de la composición de los muros sin necesidad de realizar demoliciones o labores que afecten la estética de la vivienda.

Independientemente de la modificación a realizar es necesario seguir los requisitos del capítulo 1 en 1.5 de AIS 410-23

9. Referencias

- Abraham, A. B., BH, A. B., Ufuoma, J. U., Bassam SA, D., Azhar, A. J., Li, Y., Majed, R. (2023). Performance of Unreinforced Masonry Walls in Compression: A Review of Design Provisions, Experimental Research, and Future Needs. 13(22). 12306. <https://doi.org/10.3390/app132212306>.
- Adhikari, R. K. (2023). Seismic Performance Assessment of Low-Rise Unreinforced and Confined Brick Masonry School Buildings Using the Applied Element Method. 13(1), 159. <https://doi.org/10.3390/buildings13010159>
- Asociación Colombiana de Ingenieros Sísmica (AIS). (2023). AIS 410-23: Evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería. AIS. <https://www.minvivienda.gov.co/system/files/consultas/ais-410-23-uso-mvct-junio-2023.pdf>
- Asociación Colombiana de Ingenieros Sísmica (AIS). (2023). *Anexo Técnico. AIS 410-23: Evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería.. AIS:* <https://ddhhcolombia.org.co/wp-content/uploads/2023/08/2.1.-Anexo-tecnico-3.pdf>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS]. (2010). *NSR-10: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. Título A. Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.* <https://www.scg.org.co/Titulo-A-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-13.pdf>
- Carrillo, Julián; Echeverri, Fabián y Aperador, William. (2015). Evaluación de los costos de construcción de sistemas estructurales para viviendas de baja altura y de interés social. 16(4), 479-490. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432015000400001&script=sci_abstract..
- Castillo Robles , C., Castillo , P., Andrade , P., Hernandez Rodriguez , L., Herrera , M., & Gómez , C. (2022). Reforzamiento estructural en viviendas adosadas mediante recubrimiento de mampostería con malla electrosoldada y mortero. 23(2). 53-69. <https://www.redalyc.org/journal/5703/570371887005/html/>.
- Coelho, V. A., & Silva , F. (2023). Mesh reinforcement in masonry mortar coatings: A systematic literature review. 69(389). <https://doi.org/10.1590/0366-69132023693893377>.

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2021). Deficit habitacional 2021. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/deficit-habitacional/Boletin-tec-deficit-hab-2021.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2024). Condiciones de vida en Colombia en 2024: hogares más pequeños, más conectividad y mayor jefatura femenina. <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/ECV/cp-ECV-2024.pdf>
- Gamba Tiusaba, C.F. (2013). *Reforzamiento por una cara de muros de mampostería de arcilla con unidades de perforación horizontal*. [Tesis de Maestría, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional. <https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/ea1812eb-0567-41e3-9b21-1ada0e7a41a1/content>
- Global, A. (04 de 09 de 2018). *El 50% de construcciones en Colombia son informales*. <https://www.arcus-global.com/wp/el-50-de-construcciones-en-colombia-son-informales/>
- Herrera, M., Gómez, C., Parra, G., Arévalo, D., Guaminga, E., & Hernández, L. (2022). Analysis of the reinforcement of an informally constructed structure using walls jacketing. *Gaceta Técnica*, 23(2), 4-22. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica232.2>
- Páez Moreno, D. F., Parra Rojas, S. X., & Montaña Gutiérrez, C. A. (2009). Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(14), 51–69. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75012454005>
- Quintana Ramírez, H. S. (2015). Reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas por desarrollo progresivo con mampostería no armada. *Designia*, 3(2), 99–119. <https://doi.org/10.24267/22564004.150>
- San Bartolomé, Á., & Quiun, D. (2015). Diseño de mallas electrosoldadas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe típicas del Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 30(1), 71–80. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652015000100008