



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**REFORZAMIENTO DE MAMPOSTERIA
SIMPLE EXTERNAMENTE CON MALLA
ELECTROSOLDADA Y MORTERO SEGÚN NSR-10**

Tadeo Ernesto Valencia Perea

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Medellín, Colombia

2021

Reforzamiento De Mamposteria Simple Externamente Con Malla Electrosoldada y Mortero
Según NSR-10

Tadeo Ernesto Valencia Perea

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras

Asesores (a):

Gilberto Olier García

Línea de Investigación: Estructuras

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Medellín, Colombia

2021

INDICE

INDICE FIGURAS		4
INDICE DE TABLAS		6
1. 1. INTRODUCCION		7
2. 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		8
2.1. ALCANCE		8
2.2. LIMITACION		9
2.3. OBJETIVO		9
2.3.1. OBJETIVO GENERAL		9
2.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS		10
3. 3. MARCO TEÓRICO.....		10
3.1. ANTECEDENTE		10
3.2. MARCO DE REFERENCIA.....		11
3.2.1. ESTADO DEL ARTE.....		13
3.3. MARCO NORMATIVO - NSR-10.....		25
3.3.1. CAPÍTULO A.10 EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS ANTES DE LA VIGENCIA DE LA PRESENTE VERSIÓN DEL REGLAMENTO.....		25
4. 4. MUROS DE MAMPOSTERIA NO REFORZADA		28

5.	5. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL REFORZAMIENTO PARA EL MURO DE MAMPOSTERIA EXTERNAMENTE.....	33
6.	6. DISEÑO DE MAMPOSTERIA EXTERNA.....	36
6.1.	Resistencia nominal a cortante.....	36
6.2.	Resistencia nominal a flexión - Compresión.....	37
6.3.	Resistencia nominal a Compresión.....	38
6.4.	METODO DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA	39
7.	7. EJEMPLO	40
7.1.	Diseño por flexión –compresión.....	41
7.2.	Diseño refuerzo horizontal	43
7.3.	Revisión por cortante.....	44
7.4.	Chequeos por carga axial.....	45
7.5.	Elemento de borde.....	45
8.	8. RESULTADOS DE CÁLCULO EN HOJA EXCEL.....	46
8.1.	Diseño Muro: Mamposteria Reforzada externamente.....	46
9.	9. CONCLUSIONES	48
10.	10. Bibliografía	49

INDICE FIGURAS

Figura 1	12
Figura 2	15
Figura 3: Orientación y deformación de un muro sometido a una aceleración perpendicular a su plano.....	16
Figura 4: Ensayo a compresión de muretes de mampostería.....	18
Figura 5: Momento de la falla del muro del ensayo 9-T2-1-408-0-R, vista norte.....	18
Figura 6: Procedimiento de colocación de anclajes, plástico y malla en cada murete (Mendoza Pérez J C S, et al., 2010).....	19
Figura 7: Esquemas de reforzamiento de muretes con malla electrosoldada con 5 porcentajes diferentes de adherencia (Mendoza Pérez J C S, et al., 2010).....	20
Figura 8: Densidad de conectores estudiados (Mendoza-Pérez J C S, et al., 2011).....	20
Figura 9: Esquema de ensaye de muretes.	21
Figura 10: Malla electrosoldada (izquierda), conector (centro) y tarrajeo (derecha).	21
Figura 11: Estado final de los muros M1 (izq.) y M2 (der.) después de la fase armónica.	22
Figura 12: Detalles de la falla en muros no reforzados. Falla por levantamiento en la base.....	23
Figura 13: Detalles de la falla en muros reforzados por ambas caras. Deslizamiento del refuerzo longitudinal y falla de los anclajes al cimiento.	24
Figura 14: Mampostería no reforzada con unidades de perforación horizontal.	28
Figura 15: Refuerzo con malla electrosoldada. Fuente (Sandoval, 2020)	29
Figura 16: Clasificación de los muros según su relación de aspecto.....	30
Figura 17: SECCIONES TRANSVERSALES DE MUROS	31
Figura 18: Modos de fallas de muros.....	32

Figura 19: Reforzamiento propuesto. (Gamba Tiusaba, 2019)	33
Figura 20: Hipótesis para la resistencia a flexión en muros rectangulares	35
Figura 21: Accione sobre un muro	36

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Geometría y Cargas actuantes.....	41
Tabla 2: Diseño de Refuerzo en Malla Electrosoldada.....	43

1. INTRODUCCION

En el territorio nacional se tiene una abundante cantidad de viviendas construidas sin la participación de personal técnico adecuado para el diseño y ejecución. En su mayoría son edificaciones construidas en mampostería no reforzada de arcilla o bloques de concreto que tienen condiciones de vulnerabilidad sísmica inaceptable. Por lo tanto, para contrarrestar esta vulnerabilidad se han previsto diversas maneras de rehabilitación eficientes que demandan bajos costos sencilla capacitación técnica para la implementación. Se logra proporcionar mayor capacidad a la estructura original, logrando así un nivel de seguridad adecuado y aceptable en construcciones ya existentes.

El Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en el Capítulo D-12 contempla la Mampostería Reforzada Externamente, que consiste en el reforzamiento de la mampostería no reforzada con mallas electrosoldadas que se colocan dentro del mortero de recubrimiento o revoque (pañete) en ambas caras laterales de los muros fijándolas a ellos mediante conectores y/o clavos de acero. (NSR-10, 2010)

El reforzamiento externo con malla electrosoldada y mortero de recubrimiento se aplica actualmente, en ocasiones sin ningún sustento técnico por falta de diseño que especifique la aplicación del proceso constructivo de esta técnica. Estudios recientes en su gran mayoría experimentales han demostrado las bondades de su eficiencia en la repotenciación de elementos estructurales. Esta técnica de rehabilitación se considera económica y de fácil aplicación al no requerir una mano de obra calificada. Según (Gamba Tiusaba, 2019). Según, (Bartolom et al, 2002) el uso de la malla electrosoldada y el pañete incrementa el desempeño en los muros frente a sollicitaciones sísmicas, y mejora el comportamiento relacionado con la integridad estructural del

muro permitiendo obtener una mayor resistencia del elemento no estructural y disminuyendo la posibilidad de una falla frágil por corte o sea una ganancia importante de la ductilidad.

En este trabajo se enfoca el diseño como resultado de un análisis ya realizado de la mampostería no reforzada, aplicando el método simplificado para su diseño, de acuerdo a los requisitos estipulados en el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Dando prevalencia al cálculo del refuerzo en la malla electrosoldada y la determinación del mortero de revoque requerido en espesor y resistencia necesarios.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las ciudades importantes de nuestro país se encuentran barrios enteros construidos con viviendas en mampostería no reforzada (sin acero de refuerzo), estas construcciones no cumplen con el reglamento de construcción sismorresistentes NSR-10, además se consideran no dúctiles, con una importante vulnerabilidad a los movimientos sísmico. Por estos motivos es conveniente intervenirlas con un sistema de rehabilitación que garantice una mayor capacidad de resistencia y ductilidad en los elementos estructurales que la conforman.

Es muy importante la implementación de técnicas de repotenciación que mitigue o que disminuya la vulnerabilidad en eventuales movimientos accidentales como el sismo entre otros. Por lo tanto, hay que realizar un análisis estructural, que permita alcanzar el diseño adecuado para cada elemento que se analice, luego establecer las especificaciones necesarias para el proceso constructivo y su posterior implementación durante la ejecución de la repotenciación detallada técnicamente como resultado del diseño de mejoramiento.

2.1. ALCANCE

Los análisis, resultados, recomendaciones y procedimientos descritos en este trabajo pueden ser utilizados para llevar a cabo la evaluación del comportamiento sísmico y el diseño de

la intervención para repotenciar muros de mampostería no reforzada. Resaltando su aplicabilidad en la reparación o el reforzamiento de la estructura de edificaciones existentes construidas antes de la vigencia del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes que se modifiquen o rehabiliten o a petición propia de cada interesado en el territorio nacional. (NSR-10).

2.2. LIMITACION

Las restricciones al uso de la mampostería reforzada externamente se deben basar en lo establecido al respecto en el Capítulo A.3 de Reglamento NSR-10. La mampostería reforzada externamente sólo puede utilizarse como sistema de resistencia sísmica en aquellas regiones de las zonas de amenaza sísmica baja. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (*DMI*).

No puede ser aplicado en construcciones nuevas, es limitadotado a las viviendas de uno y dos pisos existentes construidas antes del reglamento vigente.

2.3. OBJETIVO

2.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un muro de mampostería reforzada externamente.
- De la modelación y el análisis a la estructura previamente, se realizará según el Reglamento de Construcción Sismo Resistente de una manera simplificada despreciando el aporte a la resistencia de la porción de mampostería dándole toda la responsabilidad a las capas de mortero de recubrimiento o revoque (pañete). El análisis y diseño se pueden hacer cumpliendo los requisitos del Título C, como si se tratase de muros de concreto con un espesor igual a la suma de los 2 espesores de las capas de recubrimiento y con una resistencia especificada a la compresión $f'_c = f'_{cre}$.

2.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Presentar los datos para el diseño ya modelado y analizado de donde obtenemos las cargas aplicadas para el diseño, carga axial, flexión y cortante:

- Documentar los pasos requeridos para el diseño del reforzamiento externo con la malla electrosoldada y el mortero de revoque para el muro de mampostería no reforzada.
- Indicar los parámetros aplicados para la realización del cálculo de estricto cumplimiento
- Documentar el método simplificado de reforzamiento externo en mampostería simple.
- Realizar operaciones matemáticas en Excel para obtener los resultados del diseño final.
- Diseñar un muro de altura 2.4m y longitudes de 4.30 m.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTE

Tradicionalmente se ha usado en el desarrollo urbanístico de los pueblos y las ciudades el sistema constructivo de mampostería no reforzada debido a que es un material común de fácil consecución y de bajo costo. Por su importancia dentro del desarrollo económico e industrial este material ha llamado la atención por su poca ductilidad ante las sollicitaciones de cargas dinámicas, que a su vez, lo coloca en desventaja comparado con otros materiales. Para poder garantizar el buen uso se han generado muchos estudios de las propiedades mecánicas y el comportamiento ante las sollicitudes a compresión, flexión y cortante. Sobresalen los estudios que muestran los distintos modos de falla de la mampostería sin reforzar y la mampostería reforzada externamente con malla electrosoldada y mortero de recubrimiento. Estos estudios muestran resultados que se encuentran del lado de la seguridad y que esta técnica de reforzamiento puede incrementar la resistencia a

carga lateral en el plano entre 4 y 5 veces cuando se emplea solo por una de las caras del muro. (Lopez S, et al, 2013).

Los tipos de fallas que se identifican en los estudios realizados fueron los siguientes: Fallas frágiles y explosivas, falla por tensión diagonal, falla combinada por tensión diagonal y adherencia, falla por fisuración. Estas fallas se observaron experimentalmente por medio de ensayos de laboratorio: Ensayos de muros a escala real tipo vivienda en especímenes no reforzados y reforzados sometidos a cargas laterales cíclicas en el plano del muro para evaluar la capacidad de carga, pérdida de rigidez y modo de falla. Ensayos de muretes para determinar las propiedades de los materiales.

Los resultados de estos estudios nos permiten validar los diseños realizados con técnicas de mampostería reforzada externamente.

3.2. MARCO DE REFERENCIA

Este trabajo se direcciona a desarrollar el método simplificado para analizar y diseñar el reforzamiento externo en mampostería no reforzada en construcciones existentes haciendo énfasis en el uso del mortero de recubrimiento y la malla electroelectrosoldada como lo establece el Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-10, en el capítulo D-12.

Figura 1

Estado actual de las viviendas del sector-UPZ Yomasa



Nota: fotos tomadas, (LÓPEZ & MURCIA ÁVILA, 2018)

Estado actual de las viviendas del sector – UPZ Yomasa (LÓPEZ & MURCIA ÁVILA, 2018)

En este orden de ideas, el reforzamiento estructural de la mampostería no reforzada se puede determinar mediante el reconocimiento de los materiales empleados en construcción de la edificación existentes para identificar las propiedades físicas y mecánicas de ellos. Además cuantificar el nivel de aporte en cuanto a la capacidad de resistencia en la unidad y el mortero de pega con lo que fueron construidas dicha edificación y tomarlos como base del reforzamiento.

Los estudios realizados para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la mampostería no reforzada están sustentados en su gran mayoría en la identificación del comportamiento de la mampostería no reforzada y su comportamiento luego de ser reforzada con mortero de recubrimiento y malla electrosoldada de manera experimental; también en estudios realizados con diversos materiales y distintas técnicas para aplicación de las cargas y distintas formas de apoyo de los especímenes utilizados. Por este motivo se considera importante, el análisis

detallado de algunos de estos estudios experimentales realizados por especialistas en ingeniería sísmica. Con base en estos estudios como pueden verse según la bibliografía citada y teniendo en cuenta los resultados de las distintas investigaciones donde en general se concluye, por ejemplo, “la colocación de mallas metálicas como refuerzo de muros es una técnica adecuada”, (Mendoza et al, 2011), se tiene que los criterios empleados y analizados validan esta técnica para ser implementada como alternativa de reforzamiento en mampostería simple para lograr los parámetros de modelación, análisis y diseño exigido por el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistente NSR-10. Teniendo en cuenta muchas otras conclusiones que garantizan la eficacia de esta alternativa. según (Bartolomé, et al. , 2009) El refuerzo adicional empleado en M2 (malla electrosoldada recubierta con mortero), incrementó el grosor efectivo del muro en 48%. Esto hizo que aumente la resistencia a corte y modifique el tipo de falla: de una falla por corte en M1 a una falla por flexión en M2.

3.2.1. ESTADO DEL ARTE

En muchos países del mundo se han realizado múltiples estudios e investigaciones sobre el comportamiento de los muros de mampostería reforzada externamente con malla electrosoldadas y revoque. A continuación se citan y transcriben algunos artículos y apartes de dichas investigaciones

Según,(Lopez S, et al. 2012), realizaron pruebas de compresión en probetas de tamaño reducido para evaluar el módulo elástico y el módulo de corte característico de los muros. También se realizaron ensayos de cargas laterales monotónicas y dinámicas en el plano en muros a escala real para evaluar su rigidez y resistencia. Se ensayaron especímenes de muros representativos de las edificaciones residenciales típicas que se encuentran en diferentes zonas del país. Se ensayaron especímenes no reforzados y reforzados con M.M.E.

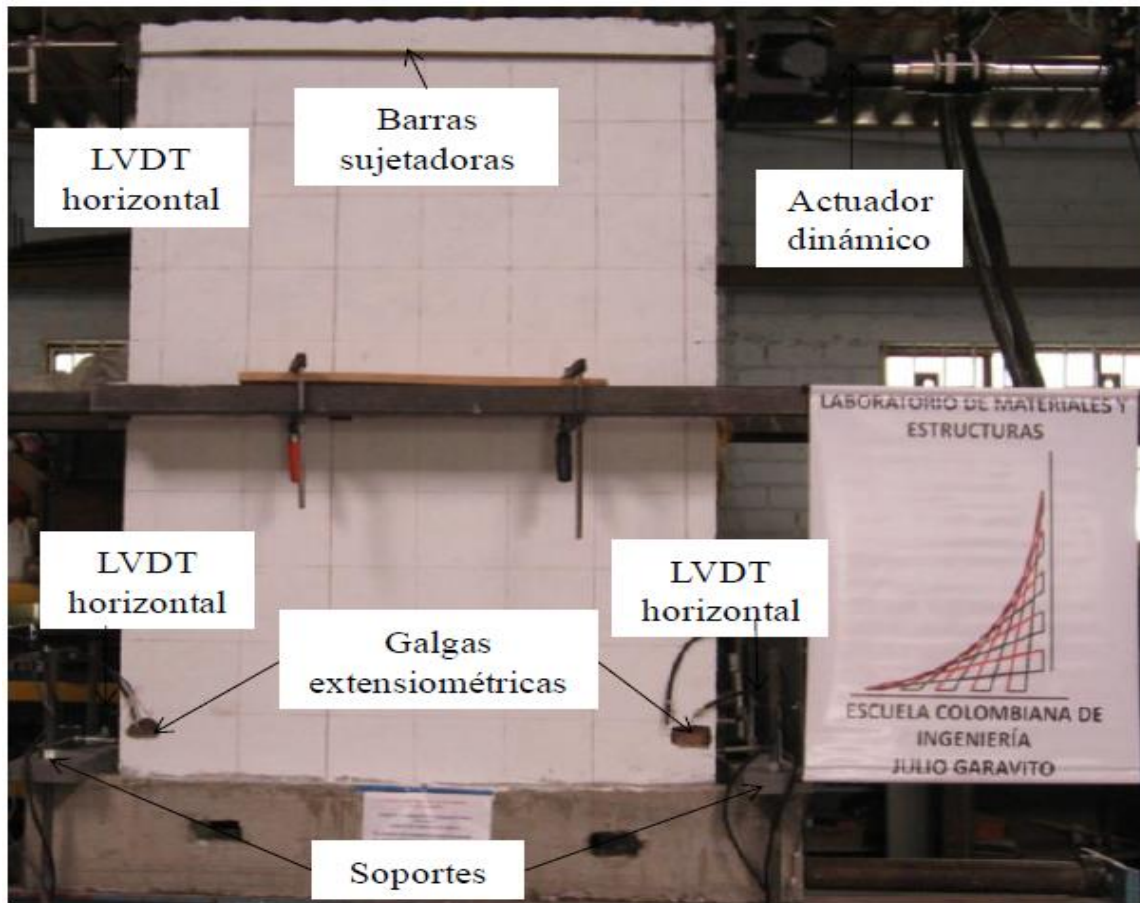
El uso del mortero y la malla electrosoldada en una sola de las caras de muretes de mampostería como refuerzo de éstos, puede incrementar la resistencia a la tracción diagonal, respecto a la de muros sin ningún tipo de refuerzo, hasta en 2.6 veces en promedio.

Aunque el sistema de reforzamiento empleado solo es por una de las caras de los muros, se encontró que se pueden obtener grandes beneficios al emplearse pues genera ganancia en resistencia para cargas monotónicas y menor degradación de la rigidez y la resistencia debido a la acción de cargas dinámicas.

En todos los ensayos realizados se encontró que el sistema de reforzamiento empleado presenta un mecanismo de falla más gradual que el que se presentaba en los especímenes no reforzados. Esta característica es muy útil cuando se alcancen los estados límites de resistencia pues permite evacuar a los usuarios la edificación lo cual sería imposible en una edificación de mampostería no reforzada.

Figura 2

Montaje para los ensayos de carga lateral dinámica



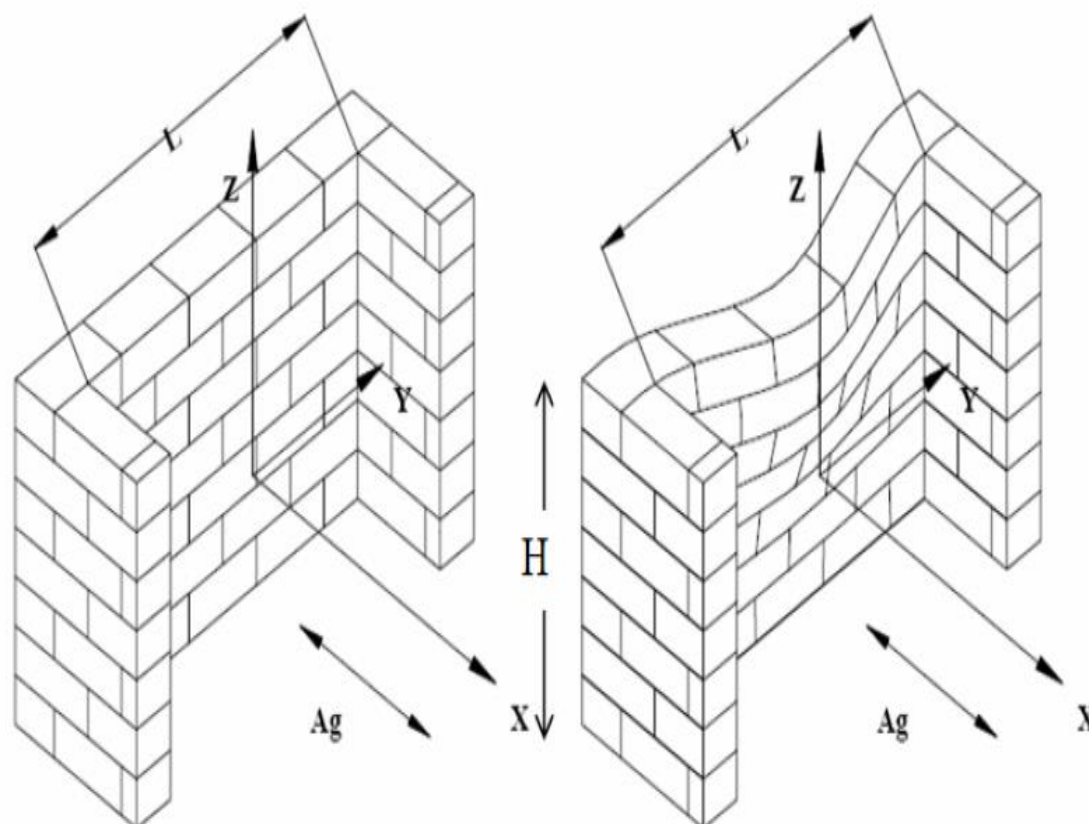
Nota: fotos tomadas, (López, et al. 2013)

Montaje para los ensayos de cargas lateral dinámica (Lopez S, et al. , 2013)

(Jaramillo, te al. 2008), En este artículo se propone un modelo para estimar la resistencia sísmica de muros en mampostería no reforzada ante aceleraciones perpendiculares a su plano. Para Esta estimación se estudiaron y modelaron diferentes mecanismos de comportamiento del sistema: flexión horizontal, flexión vertical y flexión biaxial, las cuales dependen de las condiciones de sujeción del muro. Los resultados de los modelos matemáticos propuestos se validaron con ensayos cuyos modelos matemáticos concuerdan muy bien con los escala real en siete prototipos sometidos a aceleraciones perpendiculares al plano de los muros, en la mesa vibradora de la

Universidad EAFIT, Medellín Colombia. Las estimaciones resultantes de aplicar los modelos matemáticos concuerdan muy bien con los resultados obtenidos en los ensayos.

Figura 3: *Orientación y deformación de un muro sometido a una aceleración perpendicular a su plano.*



Nota: fotos tomadas, (Jaramillo, et la.,2008)

(Jaramillo, 2002), Este artículo estudia los mecanismos de resistencia sísmica de la mampostería no reforzada. En lo que sigue se explora un mecanismo de transmisión de cargas inerciales perpendiculares al plano de muros de mampostería no reforzada que se presenta como promisorio para tratar de explicar el comportamiento adecuado o no de algunas de estas edificaciones cuando son sometidas a sismos intensos. Los resultados del modelo propuesto se

comparan con los resultados del ensayo en mesa vibradora de dos muros a escala natural instrumentados con sensores extensométricos, acelerómetros y medidores de desplazamiento. Los resultados analíticos coinciden bastante bien con los resultados experimentales.

Se logró demostrar las bondades de los sistemas de mampostería apilada con conectores de cortante sobre las juntas horizontales que habiliten el mecanismo de transferencia horizontal de cargas. En el caso estudiado, el muro de mampostería apilada incrementó su aceleración resistente un 20% por encima de la que tenía el muro de mampostería equivalente pero con mortero de pega sobre las juntas horizontales y verticales. Estos sistemas de mampostería apilada con conectores deberían explorarse más profundamente pues son muy promisorios.

(Baena Urrea, 2019), En este estudio se presenta la evaluación experimental por fuera del plano de nueve muros de mampostería no reforzada o reforzada por medio del método de franjas de mallas electrosoldadas y mortero. Adicionalmente, se presenta información acerca de estudios anteriores, modelos teóricos existentes, el proceso de elección de los muros ensayados, el diseño del montaje del laboratorio, construcción de los ensayos, análisis de resultados y conclusiones y recomendaciones.

Los ensayos muestran que bajo ciertas condiciones los muros de mampostería no reforzada pueden ser muy vulnerables ante esfuerzo fuera del plano, mientras que con otras condiciones los muros no lo son tanto. La capacidad de los muros fuera del plano puede aumentar sustancialmente si se garantizan ciertos aspectos constructivos como la viga de amarre sobre los muros que además de imponer una carga axial garantiza la integridad de la vivienda y, además, este estudio muestra que la metodología de reforzamiento por medio de franjas de mallas electrosoldadas y mortero puede mejorar el desempeño de los muros y de la vivienda ante sismos. La metodología de reforzamiento mostró ser efectiva, económica y técnicamente viable, sin embargo, se debe mejorar

la adherencia entre la franja y el muro y se deben realizar más ensayos tanto para cargas en el plano como fuera del plano con el propósito de tener una base de datos estadísticamente confiable.

Figura 4: *Ensayo a compresión de muretes de mampostería*



Nota: fotos tomadas, (Baena Urrea, 2019)

Figura 5: *Momento de la falla del muro del ensayo 9-T2-1-408-0-R, vista norte*



Nota: fotos tomadas, (Baena Urrea, 2019).

(Mendoza Perez, et al. 2011) En esta investigación se estudiaron 2 factores de variación, tres tipos de malla como refuerzo y tres tipos de mortero de recubrimiento, aplicadas a muretes de

70x70 cm elaborados de tabicón. Las mallas se fijaron a los muretes con clavos de acero para madera de 2.5” y se recubrieron con 2 cm de mortero, se ensayaron en a los 28 días obteniendo la resistencia a Esfuerzo Cortante de cada espécimen. Se observó que el recubrimiento incrementa la resistencia y al colocar mallas de refuerzo se lograron incrementos del 20% para especímenes recubiertos con morteros tipo I y II, no así con mortero tipo III.

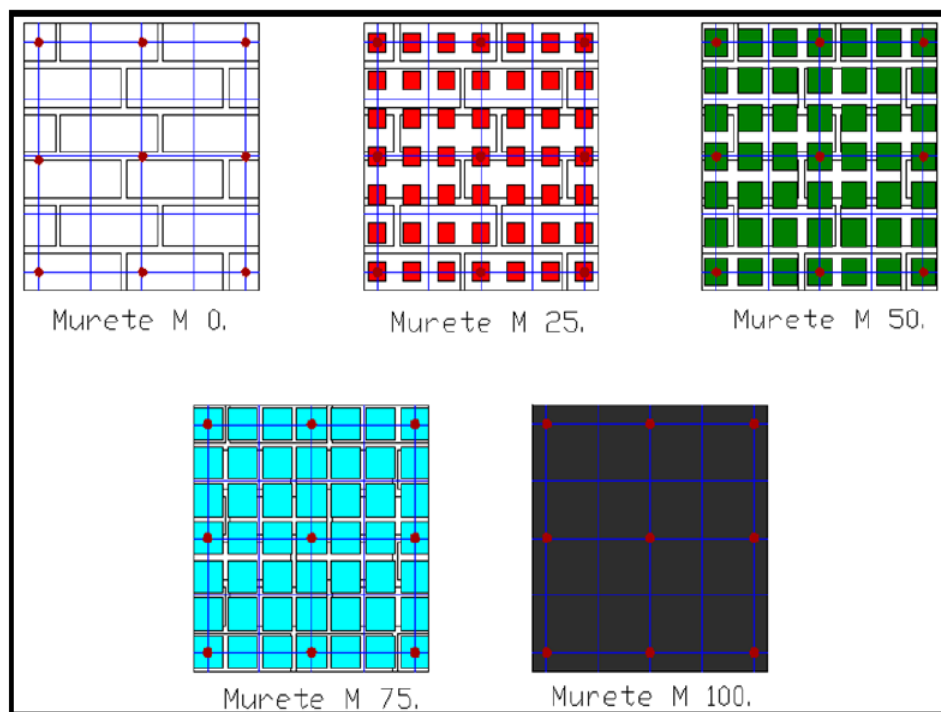
Que la colocación de Mallas Metálicas como refuerzo de muros es una técnica adecuada, ya que estas mallas si incrementan su resistencia a esfuerzos cortantes; sin embargo no se recomiendan mallas con separaciones muy pequeñas o inferiores a 5 cm, y si son recomendables mallas electrosoldadas corrugadas o lisas (con separaciones pequeñas). Por otra parte se recomienda el uso de morteros de mediana o buena calidad como recubrimiento (no necesariamente tipo I).

Figura 6: Procedimiento de colocación de anclajes, plástico y malla en cada murete (Mendoza Pérez J C S, et al., 2010).



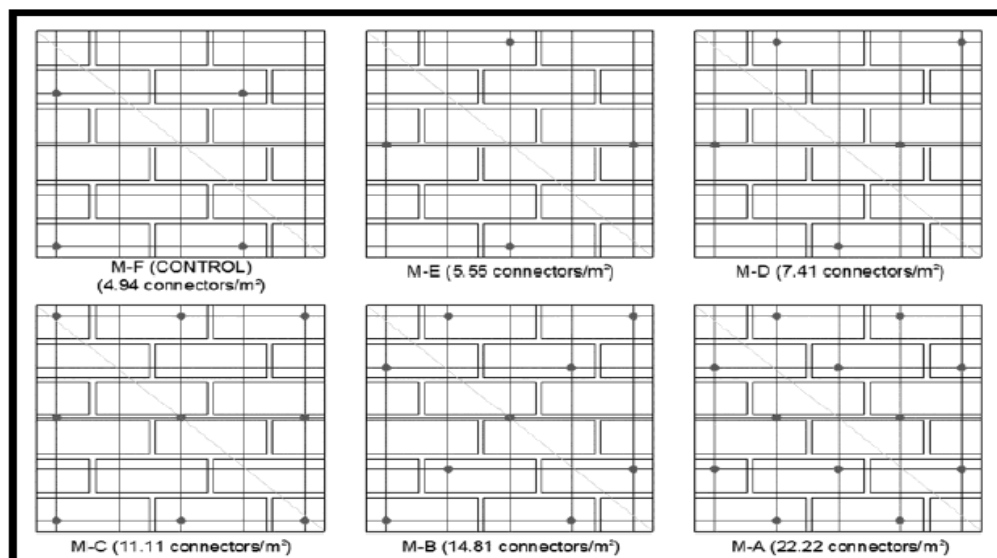
Nota: fotos tomadas, (Mendoza Perez, et al., 2011)

Figura 7: Esquemas de reforzamiento de muretes con malla electrosoldada con 5 porcentajes diferentes de adherencia (Mendoza Pérez J C S, et al., 2010).



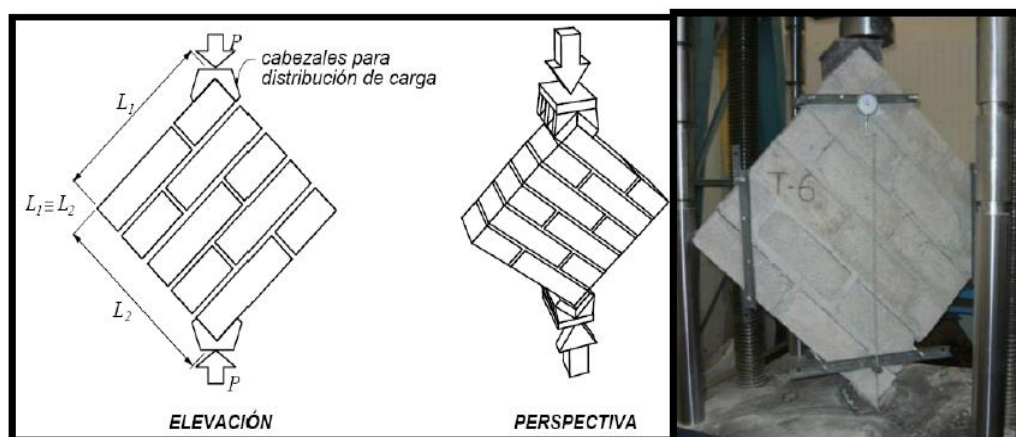
Nota: fotos tomadas, (Mendoza Perez, et al., 2011)

Figura 8: Densidad de conectores estudiados (Mendoza-Pérez J C S, et al., 2011).



Nota: fotos tomadas, (Mendoza Perez, et al., 2011)

Figura 9: Esquema de ensaye de muretes.



Nota: fotos tomadas, (Mendoza Perez, et al., 2011)

(Bartolome, 2012), En este proyecto se analizaron dos muros confinados a escala natural, construidos con la misma mano de obra, los mismos materiales, las mismas dimensiones y refuerzo en los confinamientos, excepto que en uno de ellos se colocó una malla electrosoldada en cada cara del muro. Ambos muros fueron ensayados a carga lateral cíclica con desplazamiento lateral controlado, lográndose resultados satisfactorios.

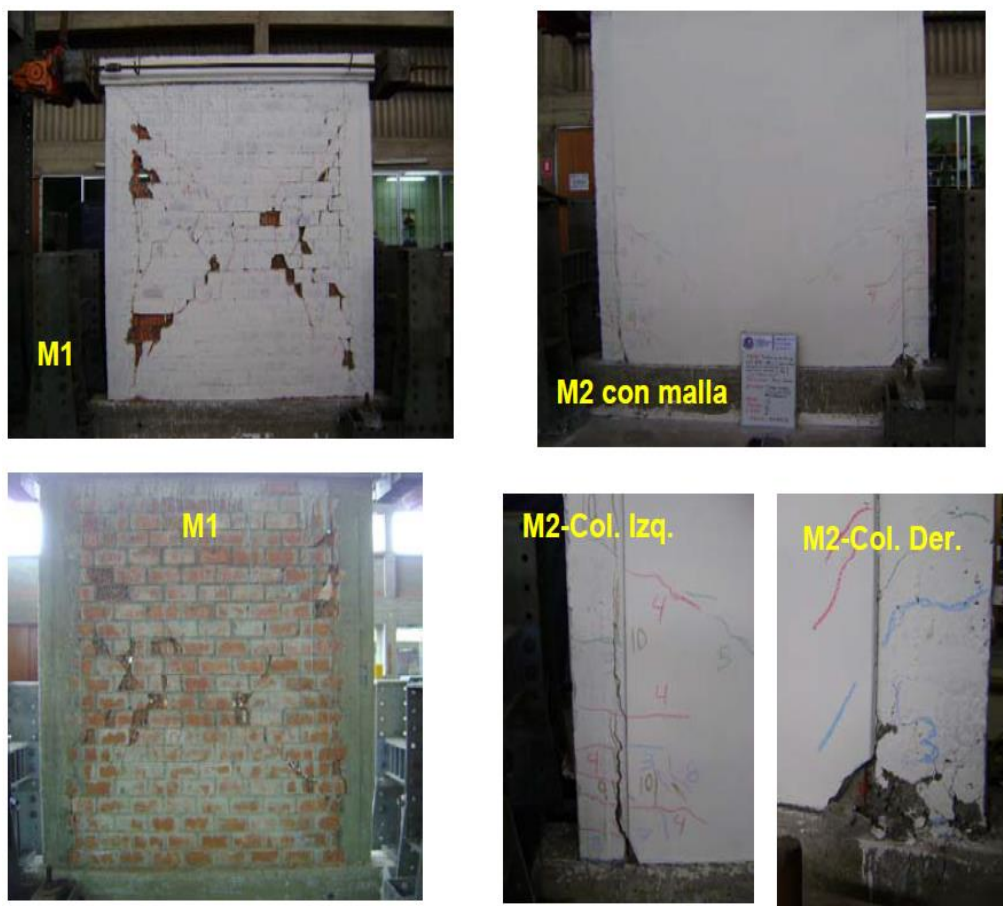
Concluyeron. Las fisuras diagonales que se formaron en M2 (cuya falla fue por flexión), fueron muy finas al ser controladas por la malla electrosoldada, esto evitó la trituración de los ladrillos huecos, cumpliéndose así con el objetivo principal del proyecto, problema que se atenuó medianamente cuando se usó solo refuerzo horizontal.

Figura 10: Malla electrosoldada (izquierda), conector (centro) y tarrajeo (derecha).



Nota: fotos tomadas, (Bartolome, et al.,2012)

Figura 11: Estado final de los muros M1 (izq.) y M2 (der.) después de la fase armónica.



Nota: fotos tomadas, (Bartolome, et al.,2012).

(López Restrepo & Torres Castellanos, 2013), La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito durante el año 2011 y parte del 2012, ejecutó un proyecto de investigación con el objetivo general de evaluar el comportamiento de muros a escala real típicos de viviendas y de algunas edificaciones de tipo histórico o patrimonial. Este documento presenta un resumen con los aspectos más importantes de la metodología y los resultados obtenidos en dicho proyecto de investigación al ensayar muros típicos de edificaciones patrimoniales reforzados externamente por una y por dos caras con mortero y malla electrosoldada.

Figura 13: *Detalles de la falla en muros reforzados por ambas caras. Deslizamiento del refuerzo longitudinal y falla de los anclajes al cimiento.*



Nota: fotos tomadas, (Bartolome, et al., 2012).

(Alcocer, 1997), En este artículo se discuten las principales variables que afectan el comportamiento de los materiales que constituyen la mampostería. Se recuerda la filosofía de diseño sísmico de estructuras de mampostería. Se presentan algunos de los avances más recientes en la comprensión del desempeño ante sismos de estructuras de mampostería confinada. Se indican las acciones y variables más relevantes al comportamiento; se señala cómo las consideran las metodologías vigentes de análisis y diseño, y se plantean tendencias futuras. Se discuten las técnicas de rehabilitación más usuales y se identifican sus ventajas y desventajas. Se dan recomendaciones generales de diseño y construcción para mejorar el desempeño sísmico de estructuras de mampostería.

Se debe asegurar una adherencia adecuada entre acero y mampostería, ya que con ello se reduce la degradación cíclica de la resistencia y rigidez, así como la posibilidad de daño

En zonas de alta sismicidad, se recomienda reforzar los extremos de los castillos con estribos cerrados colocados al menor de cada hilada o medio peralte del castillo (medido en el

plano del muro), en una longitud de tres veces el peralte del castillo. Con este refuerzo se pretende confinar el concreto en esta zona, incrementar la resistencia en la dovela del castillo y proteger al castillo de agrietamiento prematuro.

Se debe evaluar el uso de un poco de cal hidratada, ya que se logran morteros más plásticos y con mayor retención de agua.

Para evitar problemas de concentración de esfuerzos y zonas de debilidad en la mampostería, se recomienda que los tubos para instalaciones tengan un recorrido vertical.

3.3. MARCO NORMATIVO - NSR-10

3.3.1. CAPÍTULO A.10 EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN DE EDIFICACIONES

CONSTRUIDAS ANTES DE LA VIGENCIA DE LA PRESENTE VERSIÓN DEL REGLAMENTO.

Se Transcriben los apartes fundamentales para considerar la evaluación e intervención de construcciones preexistentes:

A.10.1.1 — GENERAL — El presente Capítulo establece los criterios y procedimientos que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad sísmica y adicionar, modificar o remodelar el sistema estructural de edificaciones existentes diseñadas y construidas con anterioridad a la vigencia de la presente versión del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes.

A.10.1.2 — PROPÓSITO — Una edificación que se intervenga siguiendo los requisitos aquí presentados debe ser capaz de resistir temblores pequeños sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero con algún daño en elementos no estructurales, y temblores fuertes sin colapso.

A.10.1.3 — ALCANCE — Los requisitos dados en este Capítulo deben ser utilizados para llevar a cabo la evaluación del comportamiento sísmico y el diseño de la intervención, la

reparación o refuerzo de estructura de edificaciones existentes antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes que se modifiquen o rehabiliten en el territorio nacional.

A.10.1.3.1 — Reparaciones y cambios menores — Se considera que el sistema estructural de la edificación no sufre modificación cuando se hacen reparaciones y cambios menores que no afecten el cabo los estudios a que hace referencia el presente Capítulo, con la excepción anotada en A.10.1.3.2.

A.10.1.3.2 — Cambio de uso — Cuando se modifique el uso de una edificación, aun en los casos que menciona A.10.1.3.1, entendido el cambio de uso como una modificación de acuerdo a normas urbanísticas de residencial a multifamiliar, de alguno de ellos a comercial, entre otros), así como cambio de uno de los(Grupos de Uso descritos en A.2.5.1 a otro superior dentro de ese numeral, deben evaluarse las implicaciones causadas por este cambio de uso, ante cargas verticales, fuerzas horizontales y especialmente ante efectos sísmicos.

A.10.1.3.3 — Vulnerabilidad sísmica — Los criterios presentados en este Capítulo se pueden utilizar en el diagnóstico o evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento.

A.10.1.3.4 — Modificaciones — Los criterios presentados en este Capítulo deben ser empleados para el diseño y construcción de ampliaciones adosadas o ampliaciones en altura, actualizaciones al reglamento y/o alteraciones, entendidas como cualquier construcción o renovación de una construcción distinta de una ampliación.

A.10.1.3.5 — Reforzamiento estructural — Los requisitos del Capítulo A.10 y en especial los de A.10.9 deben ser empleados en actualización y rehabilitación sísmica de edificaciones existentes. **A.10.1.3.6 — Reparación de edificaciones dañadas por sismos** — Los requisitos del

Capítulo A.10 y en especial los de A.10.10 deben ser empleados en la reparación de edificaciones que hayan sufrido daños moderados a severos en su estructura, o daños moderados a severos en sus elementos no estructurales, o ambos, y que no hayan sido designadas como de obligatoria demolición total por la autoridad competente.

A.10.2.2 — ESTADO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL — Debe calificarse el estado del sistema estructural de la edificación de una manera totalmente cualitativa con base en la calidad del diseño y construcción de la estructura original y en su estado actual. Esta calificación se debe realizar de la manera prescrita a continuación:

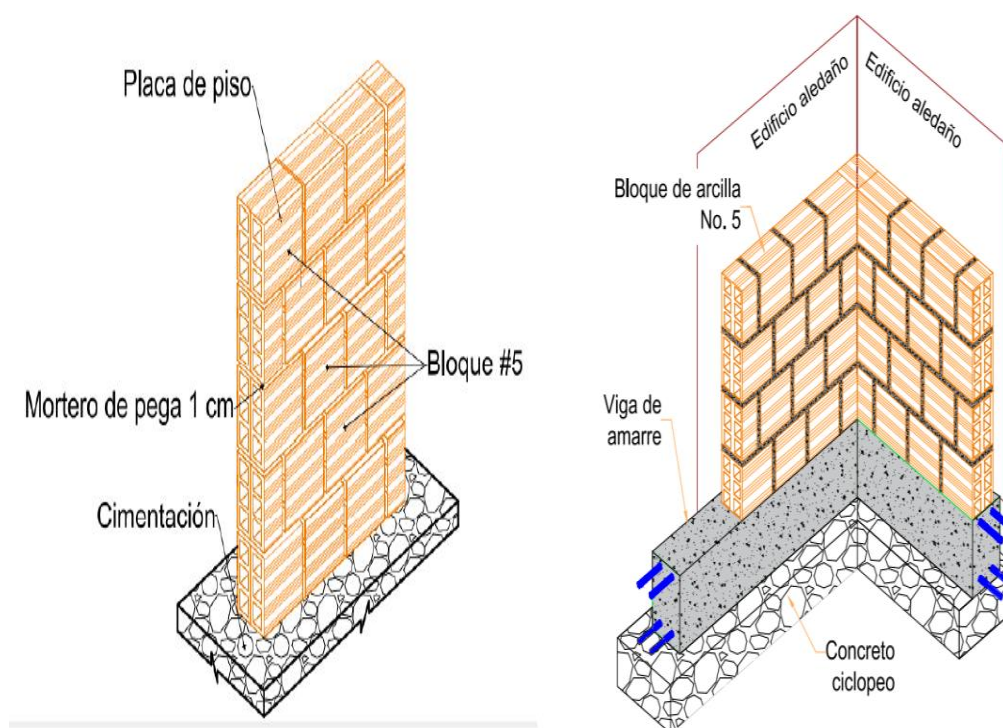
A.10.2.2.1 — Calidad del diseño y la construcción de la estructura original — Esta calificación se define en términos de la mejor tecnología existente en la época en que se construyó la edificación. Al respecto se puede utilizar información tal como: registros de interventoría la construcción y ensayos realizados especialmente para ello. Dentro de la calificación debe tenerse en cuenta el potencial de mal comportamiento de la edificación debido a distribución irregular de la masa o la rigidez, ausencia de diafragmas, anclajes, amarres y otros elementos necesarios para garantizar su buen comportamiento de ella ante las distintas sollicitaciones. La calidad del diseño y la construcción de la estructura original deben calificarse como buena, regular o mala.

A.10.2.2.2 — Estado de la estructura — Debe hacerse una calificación del estado actual de la estructura de la edificación, basada en aspectos tales como: sismos que la puedan haber afectado, fisuración por cambios de temperatura, corrosión de las armaduras, asentamientos diferenciales, reformas, deflexiones excesivas, estado de elementos de unión y otros aspectos que permitan determinar su estado actual. El estado de la estructura existente debe calificarse como bueno, regular o malo.

4. MUROS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA

Los muros de mampostería no reforzada son sistemas que comúnmente son utilizados en edificaciones existentes hoy día aun expedida y vigente la NSR-10. Sus características son de importante rigidez en su plano y baja a nula ductilidad, que permite resistir de forma poco aceptable las cargas laterales debido a la accione sísmicas.

Figura 14: Mampostería no reforzada con unidades de perforación horizontal.



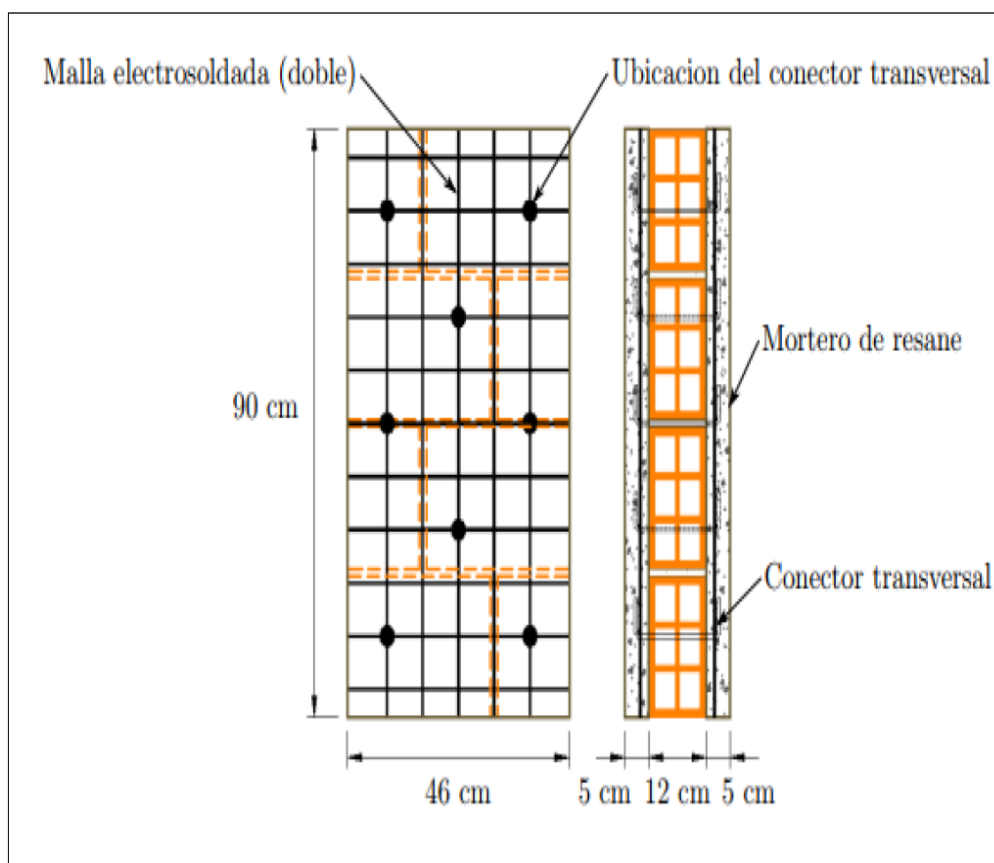
Nota: fotos tomadas, (Gamba Tiusaba, 2019)

Los procesos constructivos también influyen en la utilización de estos muros por ser este sistema fácil y rápido en la construcción en comparación con otros métodos tradicionales de construcción.

Dimensionalmente, los muros se diferencian por su reducido espesor con respecto al largo y el ancho.

Para reforzar la mampostería simple, el armado se realiza en dos sentidos sobre el plano del muro colocándose malla electrosoldada para atender en su plano solicitaciones por momento flector, fuerza axial y esfuerzo cortante. El refuerzo diagonal debe tenerse en cuenta en algunos casos, sobre todo, en aberturas de puertas y ventanas.

Figura 15: Refuerzo con malla electrosoldada. Fuente (Sandoval, 2020)



Nota: fotos tomadas, (Gamba Tiusaba, 2019)

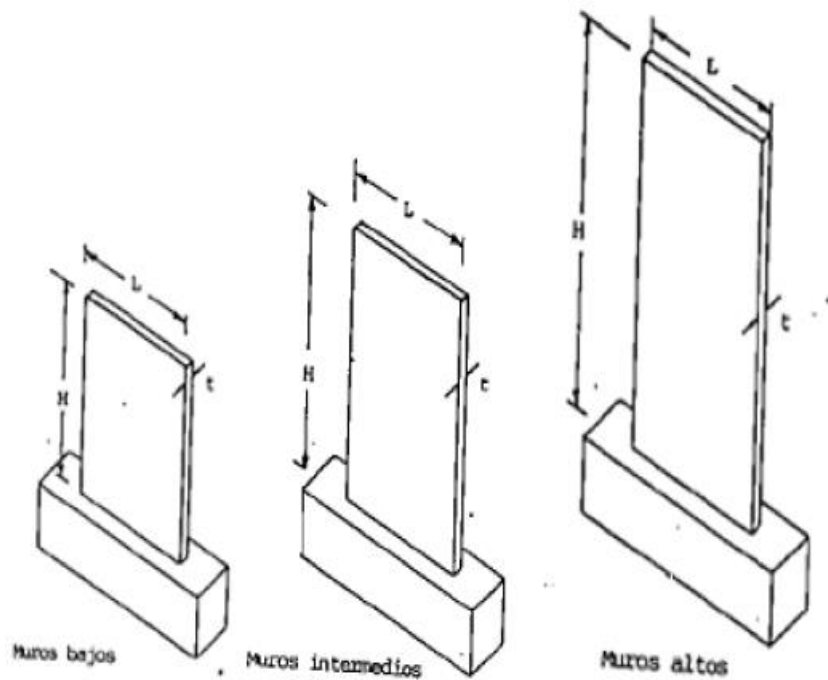
El comportamiento esperado del muro varía según su característica. Para ello se debe conocer primero el modo de falla esperado según el tipo de muro.

- **Clasificación según su geometría.** Una distinción entre los tipos de muros existentes Se realizó según diversos aspectos relacionado a la geometría:

- **Según su relación de aspecto:** esto significa que pueden tener distintas longitudes y/o longitudes variables. Derivado de esto, se puede tener comportamiento distinto según varíe uno del otro.

Figura 16: Clasificación de los muros según su relación de aspecto

Fuente: Fratelli, M.(1999)



Nota: fotos tomadas, (Briceño Z & Carreras G, 2013)

- **Según la forma de su sección transversal:** Muros planos, muros con elementos externos, muros con alas, y muro quebrados.

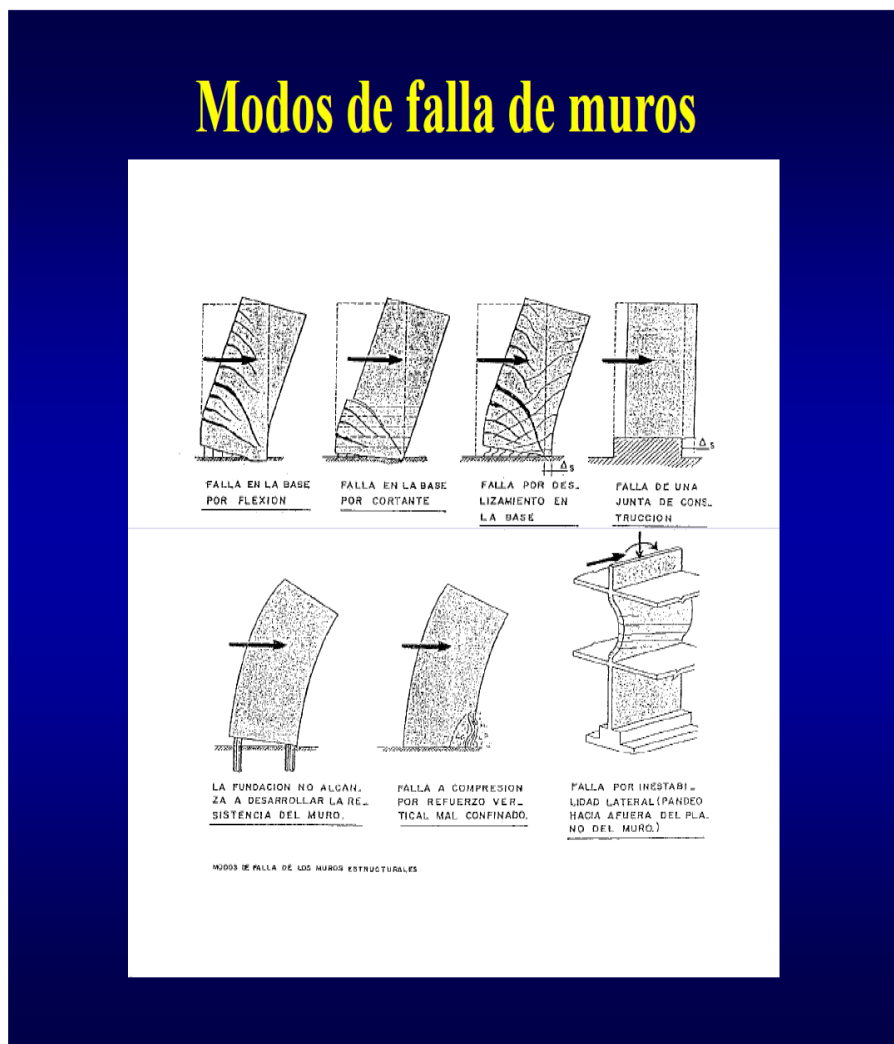
Figura 17: *SECCIONES TRANSVERSALES DE MUROS*



Nota: fotos tomadas, (Arango Tobon, 2012)

- **Según sus modos de fallas:** Alcocer, S (1995), “los clasifica de la siguiente manera: Muros de cortante, muros a flexión y muros dúctiles”

Figura 18: *Modos de fallas de muros*



Nota: fotos tomadas, (Arango Tobon, 2012)

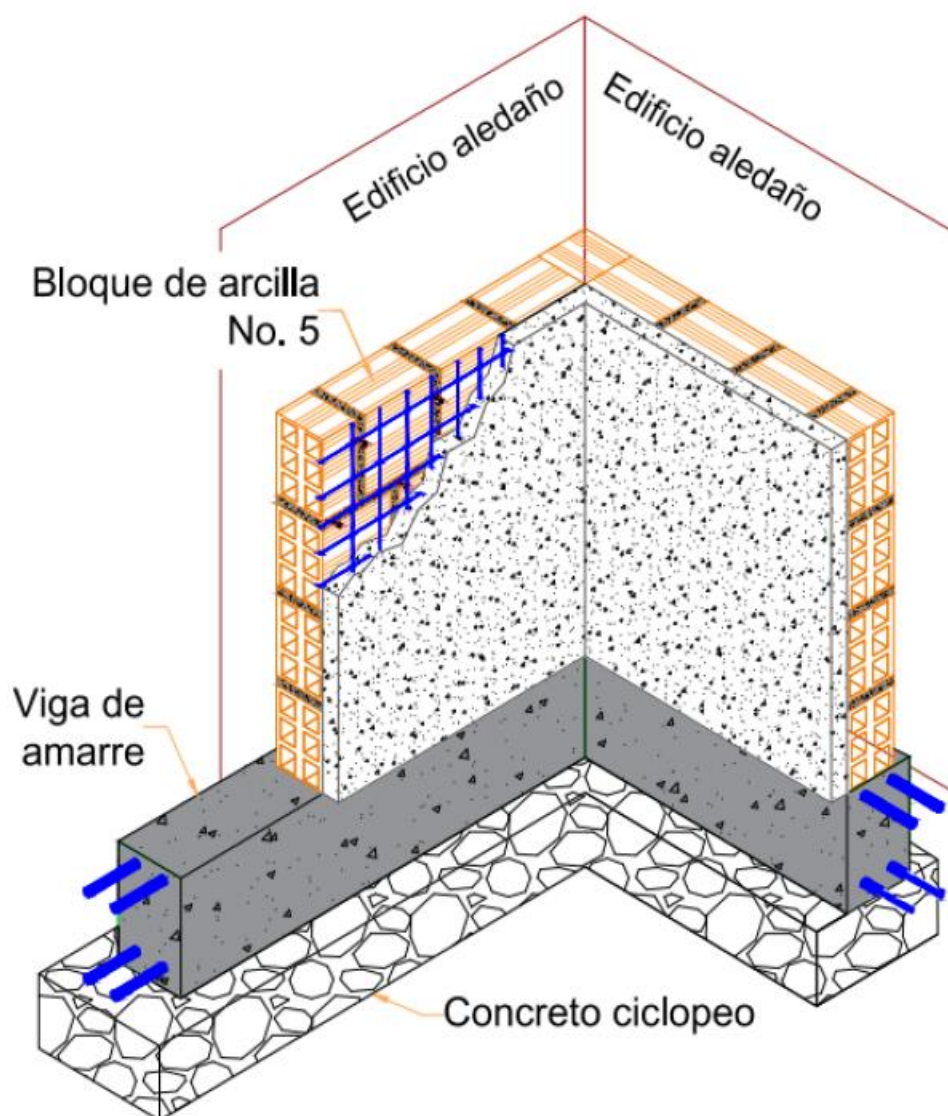
Se denota además la importancia de la utilización de muros dúctiles para el diseño sísmo resistente, debe evitarse los muros controlados por cortante por ser frágiles sin posibilidad de disipar energía.

Los muros dúctiles se diseñan para que la resistencia y las deformaciones de las estructuras sean gobernadas por la deformación dúctil ayudada por el acero de refuerzo.

5. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL REFORZAMIENTO PARA EL MURO DE MAMPOSTERIA EXTERNAMENTE.

Los criterios de diseño pueden variar según la filosofía que se adopte, consiguiéndose resultados diferentes en cuanto a la cantidad y disposición del acero de refuerzo.

Figura 19: Reforzamiento propuesto. (Gamba Tiusaba, 2019)



Nota: fotos tomadas, (Gamba Tiusaba, 2019)

En este trabajo se estudian a través de ejemplos basados en simplificaciones prácticas debido a la sección compuesta que se origina. Por ello, se procede a una sección equivalente, proponiéndose además una simplificación práctica para analizar y diseñar sin recurrir en errores considerables.

Se utilizó una hoja de cálculo del software Microsoft Excel para realizar estos cálculos, de forma de cubrir los conceptos teóricos para el diseño.

Para el diseño a flexión nos basamos en la hipótesis propuesta por Cárdenas y Magura en los sistema de muros tipo túnel, que resulta ser una metodología de fórmula práctica y sencilla que se puede resolver manualmente sin ser necesario el diseño de los elementos de borde. Según (Briceño Z & Carreras G, 2013), estando respaldado por investigaciones de la Portland Cement Association (PCA) que abarca un considerado número de ensayos realizados. Según Cárdenas y Magura (1973), la resistencia flexión de muros rectangular con una distribución uniforme del refuerzo vertical y sometido a una carga axial menor a la cual produce una condición de falla balanceada, se puede aproximar:

$$\phi Mn = \phi 0.50 A_s * f_y * l_w * \left(1 + \frac{\frac{Pu}{\phi}}{A_s * f_y} \right) \left(1 - \frac{c}{l_w} \right)$$

Figura 20: Hipótesis para la resistencia a flexión en muros rectangulares

150

response to lateral forces

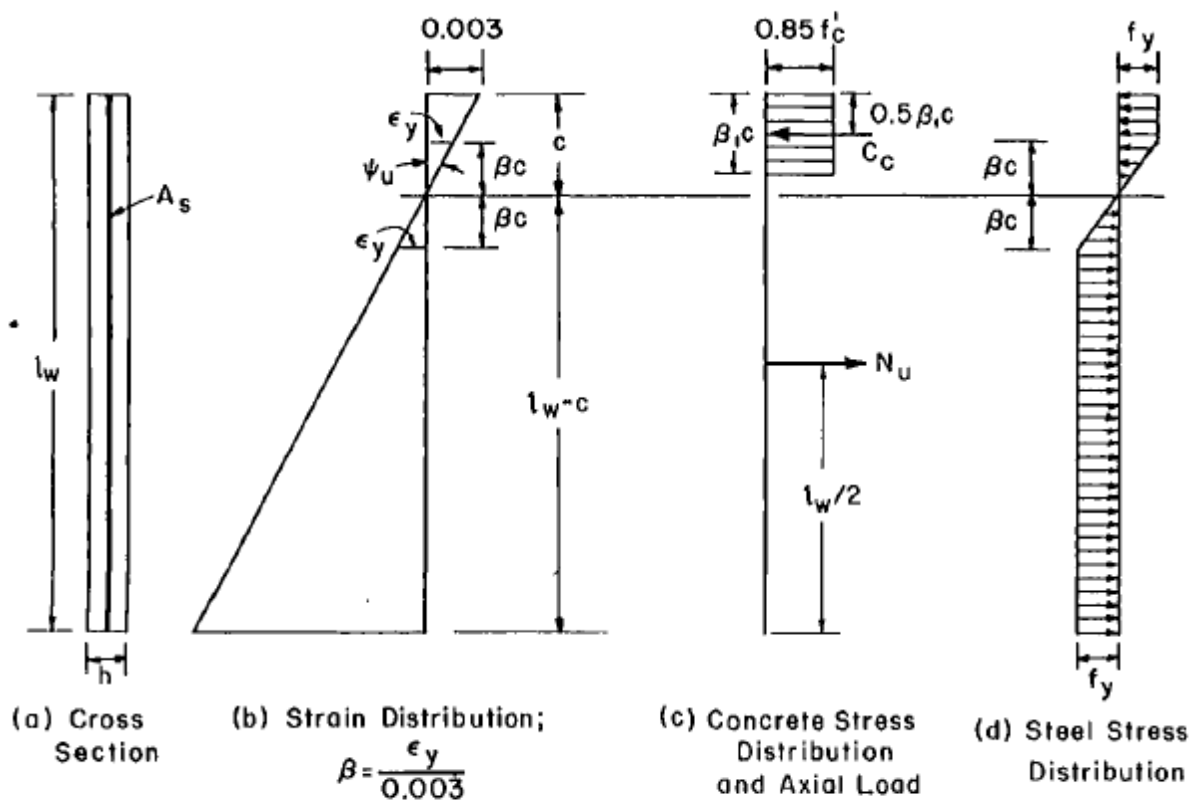


Fig. B1. Assumptions at flexural strength of rectangular shear walls

Nota: fotos tomadas, (CARDENAS & MAGURA, 1973)

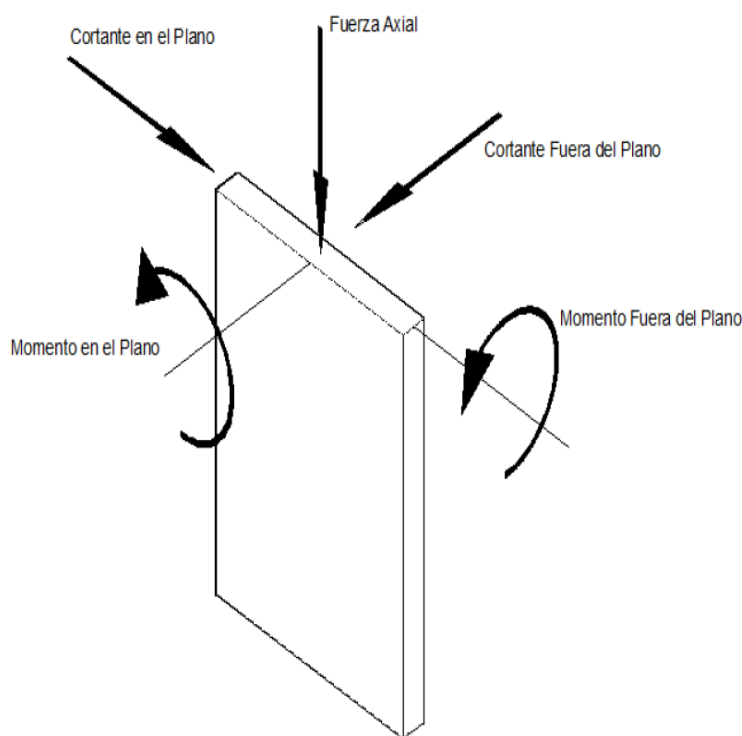
Esta investigación también propone una fórmula para estimar la profundidad del eje neutro c . del equilibrio de fuerzas se tiene la profundidad de eje neutro c/l_w

“En cuanto su armado, la práctica usual suele ser la colocación de acero uniformemente distribuida a lo largo del muro utilizado malla electrosoldada. Lo que conlleva que pueda aplicarse las fórmulas de Cárdenas y Magura”. (Valderrama Romero, 2016)

6. DISEÑO DE MAMPOSTERÍA EXTERNA

Se hace referencia a las capacidades teóricas de la Mampostería al contar con reforzamiento en malla electrosoldada y mortero de revoque haciendo énfasis en las capacidades de cargas, los modos de falla y el comportamiento de la mampostería, en este caso, contando con el reforzamiento en mención.

Figura 21: *Accione sobre un muro*



Nota: fotos tomadas, (Bondarenko H & García T, 2012)

6.1. Resistencia nominal a cortante.

El método de diseño de resistencia requiere que la resistencia al corte del muro reforzado con malla electrosoldada y mortero de revoque exceda la demanda de cortante del muro sin reforzar. Se transcribe la NSR-10 en este aspecto pertinente:

C.11.1.1. Salvo para elementos diseñados de acuerdo con el Apéndice A, el diseño de secciones transversales sometidas a cortante debe estar basado en:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (1)$$

Donde V_u es la fuerza cortante mayorada en la sección considerada y V_n es la resistencia nominal al cortante calculado mediante Donde V_c es la resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto, calculada de acuerdo C.11.3, o C.11.11 y V_s es la resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo con C.11.2, de cortante calculada de acuerdo con C.11.4, C.11.9.9.

La resistencia al corte del muro reforzado se puede calcular agregando la contribución de la malla electrosoldada (V_{ts}) y el mortero de revoque (V_c), despreciando resistencia nominal de la sección del muro.

$$\phi V_n = V_c + V_s \quad (2)$$

Donde,

V_n : Resistencia nominal al corte del muro.

V_c : Resistencia nominal al corte del mortero de revoque sin refuerzo.

V_{ts} : Resistencia proporcionada por el material de refuerzo (malla electrosoldada).

6.2. Resistencia nominal a flexión - Compresión

El método de diseño de resistencia requiere que la resistencia a la flexión del muro reforzado con malla electrosoldada y mortero de revoque exceda la demanda de flexión del muro sin reforzar.

$$\phi M_n \geq M_u \quad (3)$$

La resistencia a flexión en este trabajo está desarrollada según las ecuaciones propuestas por Cárdenas y Magura. Con las que ellos por medio de cálculos sencillos permitían diseñar el refuerzo distribuido en un muro, metodología que por ser tan practica sigue siendo aplicada, las ecuaciones son las siguientes:

$$\frac{c}{lw} = \frac{\frac{\frac{Pu}{\phi}}{f'c * lw * bw} + \rho l * \frac{fy}{f'c}}{2 * \rho l * \frac{fy}{f'c} + 0.85 * \left(1.05 - \frac{f'c}{140}\right)} = \quad (4)$$

$$\phi Mn = \phi 0.50 As * fy * lw * \left(1 + \frac{\frac{Pu}{\phi}}{As * fy}\right) \left(1 - \frac{c}{lw}\right) \quad (5)$$

$$\frac{(\phi Mn)}{(Mu)} \geq 1 \quad (6)$$

Luego se determina el acero vertical de la siguiente manera: $\rho v * lw * bw$

Mn = Momento resistente a flexión.

c/lw = Distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro.

6.3. Resistencia nominal a Compresión.

Se evalúan con respecto a las cargas mayoradas que se toma del análisis Pu , también se debe evaluar el coeficiente de reducción de resistencia de acuerdo a la NSR-10.

$$Pu \leq \phi Pn \quad (7)$$

C.9.3.2.2— Secciones controladas por compresión como se definen en C.10.3.3:

- (a) Elementos con refuerzo en espiral según C.10.9.3.....0.75
- (b) Otros elementos reforzados. 0.65

Para las secciones en las que la deformación unitaria neta a la tracción en el acero extremo en tracción en el estado de resistencia nominal, ϵ_t , se encuentra entre los límites para secciones controladas por compresión y las secciones controladas por tracción, se permite que Φ aumente linealmente desde el valor correspondiente a las secciones controladas por compresión hasta 0.90, en la medida que ϵ_t aumente desde el límite de deformación unitaria controlado por compresión hasta 0.005.

C.10.3.6.2 — Para elementos no preesforzados con estribos que cumplan con C.7.10.5. Se calcula la resistencia axial.

$$\phi P_n = 0.75\phi [85f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (8)$$

En forma alternativa, cuando se usa el Apéndice C-B, para elementos en los cuales f'_c no exceda 420 MPa, con refuerzo simétrico, y cuando $(d - d')/h$ no es menor de 0.70, se permite aumentar ϕP_n linealmente hasta 0.90, en la medida que ϕP_n disminuye desde $0.10f'_c A_g$ hasta cero. Para otros elementos reforzados ϕP_b puede incrementarse.

C.10.3.6.3 — Para elementos preesforzados, la resistencia axial de diseño, ϕP_n no debe tomarse mayor que 0.80 (para elementos con refuerzo en espiral) ó 0.75 (para elementos con estribos) de la carga axial de diseño con excentricidad nula ϕP_u .

6.4. METODO DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA

Esta metodología está basada en el comportamiento de los materiales en el rango inelástico en el momento de la rotura, cuando la estructura está sometida a cargas mayoradas generadas bajo combinaciones de cargas. Por lo tanto se puede expresar mediante la siguiente formula:

C.11.9.3 — V_n en cualquier sección horizontal para cortante en el plano del muro no debe tomarse mayor que $0.83 \sqrt{f'_c} h d$, donde h es el espesor del muro y d se define en C.11.9.4.

$$0.83 * \sqrt{f'c} * h * d \quad (9)$$

C.11.9.4 — Para el diseño de fuerzas cortantes horizontales en el plano del muro, **d** debe considerarse igual a $w_{0.8} * l_w$. Se puede utilizar un valor mayor de **d**, igual a la distancia de la fibra extrema en compresión a la resultante de las fuerzas de todo el refuerzo en tracción, cuando la ubicación de la resultante se determine por un análisis de compatibilidad de deformaciones.

C.11.9.5 — A menos que se haga un cálculo más detallado de acuerdo con C.11.9.6, **V_c** no se debe tomar mayor que $0.17 \lambda \sqrt{f_c} h d$ para muros sometidos a compresión axial, ni **V_c** debe tomarse mayor que el valor dado en C.11.2.2.3 para muros sometidos a tracción axial.

$$0.17 * \lambda * \sqrt{f'c} * h * d \quad (10)$$

C.11.9.9.1 — Donde **V_u** exceda ΦV_c , el refuerzo para cortante horizontal debe diseñarse para satisfacer las ecuaciones (C.11-1) y (C.11-2), donde **V_s** se debe calcular por medio de:

$$V_u = \frac{A_v * f_y * d}{S} \quad (11)$$

C.11.2.1.1 — Para elementos sometidos únicamente a cortante y flexión: **V_c** = $0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d$

$$V_c = 0.17 * \lambda * \sqrt{f'c} * b_w * d \quad (12)$$

C.11.2.1.2 — Para elementos sometidos a compresión axial:

$$V_c = 0.17 * \left(1 + \frac{Nu}{14 * A_g}\right) * \lambda * \sqrt{f'c} * b_w * d \quad (13)$$

7. EJEMPLO

Con el objetivo de dimensionar un muro de mampostería no reforzada, se diseñó un muro sometido a solicitaciones de diseño. Se realizaron cálculos específicos para tomar en cuenta los factores más relevantes del Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10, para la verificación de muros estructurales.

La estructura consiste en un edificio de dos niveles, con una altura del nivel típico de 2.42 m. El muro a diseñar se encuentra en el primer piso, sus características geométricas y las propiedades mecánicas de los materiales, se relacionan en seguida: Supongo una resistencia específica de concreto $f'c=18$ Mpa y un $fy=420$ Mpa

Cargas actuante

Tabla 1: Geometría y Cargas actuantes

bw	80 mm	Pu	177,436.48 mm
lw	4230 mm	Mu	40,208,701.81N-mm
h	2442 mm	Vu	138,441.27 N

Notas: Las cargas se tomaron del análisis en Etabs, bw = e equivalente

7.1. Diseño por flexión –compresión

Por ser utilizado malla electro soldada las cuantías de vertical y cuantía horizontal son iguales en los dos sentido. A demás se determina el coeficiente de reducción de resistencia:

$$0.10 * f'c * Ag = 0.10 * 18 \frac{N}{mm^2} * 4230mm * 80mm = 609,120 \text{ N} \quad (14)$$

$$0.43 * f'c * d * b = 0.43 * 18 \frac{N}{mm^2} * 0.80 * 4230 * 80 = 2,095,373N \quad (15)$$

$Pu <, 0.10 f'c * Ag$ o $0.43 * f'c * b * d$

$$\phi = 25 * \frac{609,120 - 177,436.48}{609,120} + 65 = \frac{82.71}{100} = 0.83 \quad (16)$$

Se encuentra en la zona de tracción por lo tanto hay que estimar el coeficiente de reducción en la zona donde es variable, de 0.65 a 0.90

Para estimar el eje “c” y calcular el área de acero vertical distribuido en la longitud del muro, se procede a iterar comenzado con la cuantía mínima vertical $\rho_v = 0.0025$.

$$\frac{c}{lw} = \frac{\frac{\frac{Pu}{\phi}}{f'c * lw * bw} + \rho v * \frac{fy}{f'c}}{2 * \rho v * \frac{fy}{f'c} + 0.85 * \left(1.05 - \frac{f'c}{140}\right)} \quad (4)$$

$$\frac{c}{lw} = \frac{\frac{\frac{177,436.48}{0.83}}{18 \frac{N}{mm^2} * 4230mm * 80mm} + 0.0025 * \frac{420 \left(\frac{N}{mm^2}\right)}{18 \left(\frac{N}{mm^2}\right)}}{2 * 0.0025 * \frac{420 \left(\frac{N}{mm^2}\right)}{18 \left(\frac{N}{mm^2}\right)} + 0.85 * \left(1.05 - \frac{18 \left(\frac{N}{mm^2}\right)}{140}\right)} = 0.104$$

$$\phi Mn = \phi 0.50 As * fy * lw * \left(1 + \frac{\frac{Pu}{\phi}}{As * fy}\right) \left(1 - \frac{c}{lw}\right) \quad (5)$$

$$\phi Mn = 0.83 * 0.50 * 0.0025 * 80mm * 4230mm * \frac{420N}{mm^2} * 4230mm * \left(1 + \frac{\frac{177,436.48N}{0.83}}{0.0025 * 4230mm * 80mm * \frac{420N}{mm^2}}\right) (1 - 0.104) = 893,266,141$$

$$\frac{(\phi Mn)}{(Mu)} \geq 1 \quad (6)$$

$$\frac{893,266,141 Nmm}{40,208,701.81 Nmm} = 22, \quad \text{Cumple } 22 > 1.0$$

$$Asv = \rho v * lw * bw \quad (17)$$

$$A_{sv} = 0.0025 * 80mm * 4230mm = \frac{846mm^2 * 1000mm}{4230mm} = \frac{(200 mm^2)}{m} =$$

$$\frac{(200 mm^2)}{2}; \text{Malla } \frac{100 mm^2}{m}, \text{ malla colocada } \frac{106mm^2}{m}$$

7.2. Diseño refuerzo horizontal

$$A_{sh} = \rho_h * b_w * l_w \quad (18)$$

$$A_{sh} = 0.0020 * 80mm * 2420mm$$

$$= 387.2 mm^2; 160 \frac{mm^2}{m}; \text{requerida Malla } 83.78 \frac{mm^2}{m}, \text{ malla colocada } \frac{106mm^2}{m}$$

Tabla 2: Diseño de Refuerzo en Malla Electrosoldada

Muro	f'cer (Mpa)	# Capa	Refuerzo Electrosoldada	Malla	E. de Borde
M-1	18	2	4.5mm c/150 mm ambas caras	XX-106	N/A

Nota: La cuantía colocada es mayor que la requerida

El Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-10, calcula el refuerzo horizontal según el numeral C.11.1.1 debe cumplir $\Phi V_n \geq V_u$. Donde $\Phi V_n = \Phi V_c + \Phi V_s$

El aporte del concreto es:

$$\Phi V_c = \Phi * 0.17 * \left(1 + \frac{Nu}{14 * A_g}\right) \lambda \sqrt{f'c} b d \quad (13)$$

$$\Phi V_c = 0.75 * 0.17 * \left(1 + \frac{177,463.48mm}{14 * 80mm * 4230mm}\right) * 1.0 * \sqrt{18} \left(\frac{N}{mm^2}\right)$$

$$* 80mm * 0.8 * 4230mm = 148,948N$$

El aporte del acero horizontal es:

$$\Phi V_s = \Phi * \frac{A_v * f_y * d}{S} \quad (11)$$

$$\Phi V_s = 0.75 * \left(\frac{212.06 \frac{mm^2}{m} * 0.15 m * 420 \frac{N}{mm^2} * 4230 mm * 0.80}{150 mm} \right) = 226,047 N$$

C.11.1.1 $\Phi V_n = \Phi V_c + \Phi V_s$

$$\Phi V_n = 148,948 N + 226,047 = 374,996 N$$

$$\Phi V_n = 374,996 N$$

$$\rho_h = \frac{V_u - \Phi V_c}{\Phi f'_y * b_w * d} \quad (19)$$

Despejando en función de la cuantía se tiene

$$\rho_h = \frac{138,441.27 N - 374,996 N}{0.75 * 420 \frac{N}{mm^2} * 150 mm * 0.8 * 4230 N} = -0.0001$$

$$\rho_h = -0.0001$$

Se cheque con la cuantía mínima horizontal ρ_t , se utiliza la mayor.

$$\rho_t = 0.0025 > \rho_h = -0.0001, \text{ cumple}$$

7.3. Revisión por cortante

La resistencia de diseño a corte se define, según C.11.1.1 $\Phi V_n = \Phi V_c + \Phi V_s$,

$$V_u \leq \Phi V_n$$

$$138,441.27 N \leq 374,996, \text{ Cumple}$$

De acuerdo al C.21.9.4.1, también se debe revisar, $\Phi V_u \leq \Phi V_n$ máximo

$$\Phi V_{n \text{ máximo}} = \Phi * A_{cv} * (\alpha * \lambda * \sqrt{f'_c} + \rho_l * f_y) \quad (20)$$

Donde $\alpha_c=0.25$ para, $hw / lw \leq 1.5$; $\alpha_c=0.17$ para, $hw / lw = 2.0$

α_c =varia linealmente 0.25 y 0.17 para, $1.5 \leq hw / lw < 2$

$$\Phi V_{nmax} = 0.75 * 150 * 4230 * (0.25 * 1.0 * \sqrt{18} \frac{N}{mm^2} + 0.0025 * 420 \frac{N}{mm^2}) = 551,755$$

7.4. Chequeos por carga axial

$$\phi P_n = 0.75\phi * [0.85 * f'c * (A_g - A_{st}) + f_y * A_{st}] \quad (21)$$

$$\phi P_n = 0.75 * 0.83 * \left[(0.85 * 18 \frac{N}{mm^2} * (150mm * 4230mm - 212.03 \frac{mm^2}{m} * 3450) + 420 \frac{N}{mm^2} * 212.03 * 4.23m) \right] = 3,437,248$$

7.5. Elemento de borde

$$\sigma_{max} = \frac{P_u}{A} + \frac{M_c}{I} = \frac{P_u}{t * l_w} + \frac{6 * M_u}{t * l_w^2} \quad (22)$$

$$\sigma_{max} = \frac{177,436.48 \text{ N}}{80mm * 4230mm} + \frac{6 * 40,208,701.81 \frac{N}{mm^2}}{80mm * 4239^2 mm^2} = 0.69 \text{ Mpa}$$

$$0.30 * f'c = 0.30 * 18 \text{ Mpa} = 5.4 \text{ Mpa} \quad (23)$$

Como $\sigma_{max} = 0.69 < 0.30 * 21 \text{ Mpa} = 5.4 \text{ Mpa}$, no se necesita elementos de borde, C.21.9.2.1.

8. RESULTADOS DE CÁLCULO EN HOJA EXCEL

8.1. Diseño Muro: Mampostería Reforzada externamente

DATOS DE ENTRADA			Muro-1	
MURO			420 N / mm ²	
f_y			18 N	
f_c			2420 mm	
hw			80 mm	
bw			4230 mm	
lw			3384 mm	
d	$d = 0.8 * lw$		177,436.50 N	
Pu			40,208,701.81 Nmm	
Mu			138,441.27 N	
Vu			338,400 mm ²	
Acv		$1/12 * Acv * \lambda * (f_c)^{0.5} =$	119,642 N	
$Vu \leq 1/12 * Acv * \lambda * (f_c)^{0.5}$			No	
pt		cuantía mínima vertical	0.0025	C.14.3.3
ph		cuantía mínima horizontal	0.0025	C.14.3.3
$Vu \leq 1/6 * Acv * \lambda * (f_c)^{0.5}$	=		239,285 N	
Capas de refuerzo			Si	
Calculo del coeficiente de reduccion			Una Capa	
$0.1 * f_c * Ag$			609,120 N	
$0.43 * f_c * 0.8 * lw * bw$			1,361,992 N	
Φ			0.83	
Analisis por Flexo Compresion				
f_v			0.0025	ok
$\frac{C}{lw}$			0.104	mm
ΦM_n			893,266,141 N-mm	
$\frac{\Phi M}{Mu} \geq 1.0 =$		22.22		Cumple la cuantía supuesta
Calculo del refuerzo				
Asv = pv * bw * lw			846 mm ²	
Asv			200 mm ² /m	Requeri a 2 capas
S=	0.15	Malla, A-335	106.03 mm ² /m	
Cuantía mínima	$0.002 * lw * bw$		212.06 mm ²	
Calculo de Refuerzo Horizontal			$\Phi V_n \geq Vu$	
$V_n = V_c + V_s$				
$\Phi V_c = \Phi 1/6 * (1 + (Nu/14Ag)) * \lambda * (f_c)^{0.5} * bw * d$			148,948	NSR-10 (C.11.2.1.2)
$V_s = (A_v * f_y * d) / (S)$				
Se des peja en funcion de la cuantía			NSR-10 C.11.4.7.2	
$f_{hor} = \frac{Vu - \Phi V_c}{\Phi f_{yt} * bw * d}$		Cantía horizonta	-0.0001	Usar pmin=0.002
pt =	0.0025			
Ash = pv * bw * hw			484.0 mm ²	

Dos Capa			200 mm2/m
	S=	0.15	106.03 mm2/m
Acero de refuerzo	La malla		212.06 cumple
$V_n = V_c + V_s$			
$\Phi V_c = \Phi * 0.17 * (1 + \rho_u / (14 * A_g)) * \lambda * \sqrt{f_c} * b * d$			148,948 N
$\rho_h = (V_u - \Phi V_c) / (0.75 * f_y * b_w * d)$			0.0003 0.002
$\Phi V_n = \Phi * 0.83 * A_{cw} * \sqrt{f_c}$			893,729 N
$\Phi V_s = (\Phi * A_v * f_y * d) / s$			226,047 N
$\Phi V_n = \Phi V_s + \Phi V_c$			374,996 N
	138,441	≤	374,996 Cumple
C.21.9.4.1 revisar $\Phi V_n < \Phi V_n$ maximo			
$\Phi V_{nmaximo} = \Phi a_{cv} * (\alpha * \lambda * \sqrt{f_c} + \rho_{vertical} * f_y)$	0.25	0.17	551,755 N
	374,996	<	551,755 Cumple
$(\Phi V_{nmaximo} \leq 0.83 * A_{cv} * \sqrt{f_c})$			893,729 N
	551,755	≤	893,729 Cumple
Revision por carga axial			
$\Phi P_n = 0.75 \Phi [0.85 * f_c * (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$			3,437,248 N
	177,437	≤	3,437,248 Cumple

9. CONCLUSIONES

El reforzamiento de mampostería no reforzada con malla electrosoldada externamente representa una manera económica , debido al bajo costo de la malla y el procedimiento de instalación en el que no se requiere modificar el refuerzo de cimentación y los daños por perforaciones en el muro es bajo.

Para el diseño a flexión se estima que necesariamente se debe adicionar un refuerzo que soporte los momentos en los muros generados por el sismo, teniendo en cuenta, que el adobe es un material totalmente frágil que no resiste tracciones. Por lo tanto la decisión de reforzar con malla electrosoldada es adecuada.

Con el reforzamiento de la mampostería externamente garantizamos que los elementos que hacen parte del sistema de resistencia sísmica soporten las solicitaciones por compresión, flexión y cortante.

10. Bibliografía

- A.I.S. (2010). *ASOCIACION COLOMBINA DE INGENIERIA SISMICA (A.I.S). Reglamento Colombino de Construcción Sismo Resistente. Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistente, Marzo de 2010.*
- Alcocer, S. (1997). *COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA: UNA REVISIÓN.*
- Arango Tobon, J. (2012). *Configuración, modelación y análisis de estructuras de muros.*
- Baena Urrea, J. (2019). *EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESPUESTA FUERA DEL PLANO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA, NO REFORZADA Y REFORZADA CON FRANJAS DE MALLAS ELECTROSOLDADAS Y MORTERO.*
- Bartolomé, Á., Barr, K., & Pineda, C. (2009). *CONTROL DE LA TRITURACIÓN DE LOS LADRILLOS HUECOS MEDIANTE MALLAELECTROSOLDADA EN MUROS DE ALBANILERÍA CONFINADA.*
- Bartolome, A., Barr, K., & Pineda, C. (2012). *CONTROL DE LA TRITURACIÓN DE LOS LADRILLOS HUECOS MEDIANTE MALLA.*
- Bondarenko H, S., & García T, I. (2012). *MANUAL DE CÁLCULO Y DISEÑO DE MUROS ESTRUCTURALES DE CONCRETO ARMADO.*
- Briceño Z, A., & Carreras G, N. (2013). *Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerándolas experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011.*
- CARDENAS, A., & MAGURA, D. (2006). *STRENGTH OF HIGH-RISE SHEAR WALLS-RECTANGULAR CROSS SECTION.*
- Flores, L. (2009). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.*

Gamba Tiusaba, C. (2019). *Reforzamiento por una cara de muros de mampostería de arcilla con unidades de perforación horizontal.*

Gamba Tiusaba, C. (2019). Reforzamiento por una cara de muros de mampostería de arcilla con unidades de perforación horizontal.

GÓMEZ ZARATE, F., & ROJAS ROJAS, L. (2019). *SOFTWARE PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS CON MUROSPORTANTES DE CONCRETO REFORZADO DE HASTA 6 PISOS DEACUERDO AL NSR-10.*

Jaramillo, J. (2002). MECANISMO DE TRANSMISION DE CARGA PERPENDICULARES AL PLANO DEL MURO EN MUROS DE MAMPOSTERIA NO REFORZADA.

Jaramillo, J., Morales, M., & Himcapie, G. (2008). RESPUESTA SISMICA DE MUROS DE MAMPOSTERIA NO REFORZADA SOMETIDA A ACALERACION PERPENDICULARES A SU PLANO.

López Restrepo, S., & Torres Castellanos, N. (2013). EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA RECUBIERTA CON MORTERO REFORZADO.

Lopez S, Quiroga P N, & Torres N. (2013). Evaluacion analitica y experimental de muros de mamposteria no reforzada y reforzada externamente con mortero y malla electrosaldada.

LÓPEZ, C., & MURCIA ÁVILA, Y. (2018). *DESARROLLO DE UNA GUÍA PRÁCTICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA SOCIAL EN ZONAS CON ALTA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE ACUERDO CON LA NSR-10 – CASO DE ESTUDIO LOCALIDAD USME – UPZ 57 GRAN YOMASA.*

Mendoza Perez, J., Yañez, N., Mendoza Loyola, G., & Rico Garcia, E. (2011).
COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA SOMETIDA A ESFUERZOS

CORTANTES, REFORZADA CON MALLAS METALICAS Y RECUBRIMIENTOS
DE MORTERO.

NSR-10. (2010). *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.*

Reglameto colombiano de construccion sismo resistente. NSR-10. Bogota D.C.:

Elministerio, 2010. C-137.

Valderrama Romero, G. (2016). *Procedimiento de análisis y diseño de muros portantes de
concreto.*