



Revisión bibliográfica de patologías en muros de mampostería estructural y no estructural

Mauricio Restrepo Martínez

Yenny Carolina Cano Barrera

Monografía para optar por el título de Especialistas en análisis y diseño de estructuras

Asesor

Alejandro Henao, Ingeniero civil Especialista en análisis y diseño de estructuras

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Especialización en análisis y diseño de estructuras

Medellín

2022

Cita	(Restrepo Martínez & Cano Barrera, 2022)
Referencia Estilo APA 7 (2020)	Restrepo Martínez, M., & Cano Barrera, Y. C. (2022). <i>Revisión bibliográfica de patologías en muros de mampostería estructural y no estructural</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras, Cohorte IX.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Juan Carlos Vélez Cadavid

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	5
Abstract	5
Introducción.....	6
Planteamiento del problema	6
1. Objetivos	7
1.1 Objetivo general	7
1.2 Objetivos específicos	7
2. Alcance.....	8
3. Marco teórico.....	8
4. Metodología.....	11
5. Revisión bibliográfica	12
6. Conclusiones.....	39
Referencias bibliográficas	40

Lista de tablas

Tabla 1. Líneas temáticas de patologías en muros de mampostería.....	11
---	----

Lista de figuras

Figura 1. Grietas por asentamiento diferencial.....	10
Figura 2. Efecto de aberturas en fisuramiento.....	10
Figura 3. Mampostería confinada y mampostería reforzada.....	13
Figura 4. Proceso constructivo mampostería confinada (izquierda) y mampostería reforzada (derecha).	18
Figura 5. Comportamiento sísmico mampostería panel dentro de pórticos (izquierda) y mampostería confinada (derecha).....	19
Figura 6. Mecanismo de falla por cortante de muro de mampostería confinada.....	20
Figura 7. tipos de diafragma sobre mampostería confinada.....	21
Figura 8. Falla en el plano vs falla fuera del plano.....	22
Figura 9. Falla en el plano por flexión dúctil.	22
Figura 10. Falla dentro del plano por flexión con corte.....	23
Figura 11. Falla por flexión con deslizamiento.	24
Figura 12. Falla en el plano de muro pilastra.	24
Figura 13. Tipos de apoyo muros no estructurales.	25
Figura 14. falla en mampostería no estructural restringido en sus cuatro y dos lados, respectivamente.	25
Figura 15. Falla en mampostería no estructural de fachada por voladizo.....	26
Figura 16. Conexión superior mampostería no estructural con viga de concreto.	27
Figura 17. Anclaje de fachada flotante.	27
Figura 18. Evolución de falla por fuera del plano y por tipo de apoyo.	28
Figura 19. Orientación de grietas.....	31
Figura 20. anclaje a elemento de concreto reforzado.	35
Figura 21. técnica de grapado.....	36

Figura 22. Refuerzo en celdas de perforación vertical.	37
Figura 23. Muro reforzado externamente.....	38

Resumen

Siendo la mampostería uno de los sistemas constructivos más utilizados en Colombia, tanto a nivel estructural como no estructural, y para diferentes tipos de edificaciones, el presente trabajo se enfoca en el estudio de las patologías que presentan los diferentes tipos de muros, con sus diferentes orígenes, donde se enfatiza en la acción de las fuerzas externas, así como la resistencia de los materiales que lo componen. Una de las principales conclusiones a las que se llega, es que las fallas por fuera del plano de cada panel son las de mayor relevancia, por tratarse de su lado más débil y por la naturaleza frágil de su mecanismo de falla, lo que puede traer consecuencias catastróficas para la edificación, los bienes materiales y para la vida humana.

Palabras claves: mampostería, patologías, falla fuera del plano, fuerzas externas.

Abstract

Being masonry one of the most used construction systems in Colombia, both at structural and non-structural level, and for different types of buildings, the present work focuses on the study of the pathologies presented by the different types of walls, with their different origins, where emphasis is placed on the action of external forces, as well as the resistance of the materials that compose it. One of the main conclusions reached is that the out-of-plane failures of each panel are the most relevant, because they are the weakest side and because of the fragile nature of their failure mechanism, which can have catastrophic consequences for the building, the material assets and for human life.

Keywords: masonry, pathologies, out-of-plane failure, external forces.

Introducción

Una parte importante de las edificaciones en Colombia, especialmente en cuanto a construcción de vivienda se refiere, se conforman en gran medida de muros de mampostería, tanto a nivel estructural como no estructural, y en diferentes materiales donde priman las unidades en arcilla y en cemento. En estos, se construyen diversos tipos de elementos pertenecientes a las estructuras, tal como son los muros estructurales para edificaciones de más de dos niveles, muros de casas de uno y dos pisos, así como muros no estructurales como son ciertos muros de fachada, muros divisorios, antepechos, entre otros, que originan la necesidad de tener mayor claridad acerca del análisis de su comportamiento ante las sollicitaciones a las que se ven sometidos, para cargas verticales y horizontales, y de esta manera tener mejores herramientas analíticas para anticipar, identificar e intervenir las posibles patologías que puedan presentarse en los muros de mampostería.

En tal sentido, el presente trabajo se enfoca en llevar a cabo una revisión bibliográfica acerca de las patologías en mampostería, desde sus causas con sus diferentes orígenes, hasta su identificación visual en campo, y propuestas de intervención según sea el escenario. Para esto, se inicia con un marco teórico donde se desarrollan los conceptos a ser tratados y la forma como se organiza la recopilación de información, para luego proceder a presentar lo que exponen las fuentes consultadas respecto a cada línea temática planteada, y finalizar con las respectivas conclusiones basadas en la información recopilada. Dicha información procede de trabajos científicos de determinados autores que han publicado artículos tipo tesis de grado y artículo de revista científica, y procede también de manuales técnicos de empresas e instituciones relacionadas con estas temáticas, cuyo uso principal es el de contextualizar y dar orden a la información a ser expuesta.

Planteamiento del problema

Si bien existe amplitud de literatura en el campo de los distintos temas relacionados con la mampostería y las patologías de la construcción, tal como se evidencia a lo largo de este documento, se tiene una motivación especial para complementar de manera amplia el tema de la construcción en mampostería, su normatividad y patologías, presentando un

compendio o síntesis de la información que aborde las patologías en los muros de mampostería, que integre las diferentes vertientes, que van desde los diferentes tipos de causas de las patologías en muros de mampostería, agrupadas por categorías como las de tipo físico, mecánico y de calidad de los materiales, hasta su identificación y clasificación visual, cerrando con las propuestas de intervención preventiva y correctiva.

La importancia que se percibe en este tema para ser abordado surge de dos situaciones relevantes, que son la importancia que representa la mampostería en las edificaciones en Colombia, particularmente en cuanto a construcción de vivienda, tanto cuando se trata de muros estructurales como cuando no, y el potencial daño que puede ocasionar el colapso de un muro, sea o no estructural, ante la ocurrencia de un sismo o carga lateral, cuando este no está adecuadamente diseñado y construido pensando en dicha sollicitación. Por lo tanto, la meta es presentar un esquema de material bibliográfico ordenado por temática, con el propósito de explicar de manera amplia las patologías en este tipo de construcciones, y cuáles son los lineamientos normativos, analíticos y constructivos para intervenir a nivel correctivo y preventivo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Recopilar información bibliográfica acerca de las principales patologías en muros de mampostería, con sus evaluaciones visuales, posibles causas, propuestas de intervención correctiva y preventiva, y las potenciales consecuencias de persistir su condición.

1.2 Objetivos específicos

- Presentar el marco conceptual de las principales patologías en muros de mampostería con sus definiciones y posibles causas.
- Clasificar el marco conceptual y teórico en las líneas donde se centra la revisión de la información bibliográfica.

- Recopilar información acerca de las principales propuestas de intervención, tanto preventiva como correctiva para tratar las patologías de muros de mampostería.

2. Alcance

De acuerdo a la naturaleza de este trabajo, cuya modalidad es la de revisión bibliográfica, su enfoque se basa en abordar el tema de las patologías en muros de mampostería desde la revisión de literatura, definiendo para esto unas líneas temáticas en las cuales recopilar la información relevante por autor. Lo anterior implica que es necesario organizar la información desde los materiales y procedimientos constructivos, los cuales explican el tema central que es el de patologías en muros de mampostería, tanto los estructurales como los no estructurales.

En este trabajo, tanto los casos de estudio como las alternativas de intervención correctivas y preventivas que se traen a colación, se enfocan a servir de complemento a los conceptos presentados desde la revisión bibliográfica, la cual parte de definir los tipos de muros de mampostería y sus requerimientos normativos, para posteriormente descripción describir las patologías y sus posibles intervenciones.

3. Marco teórico

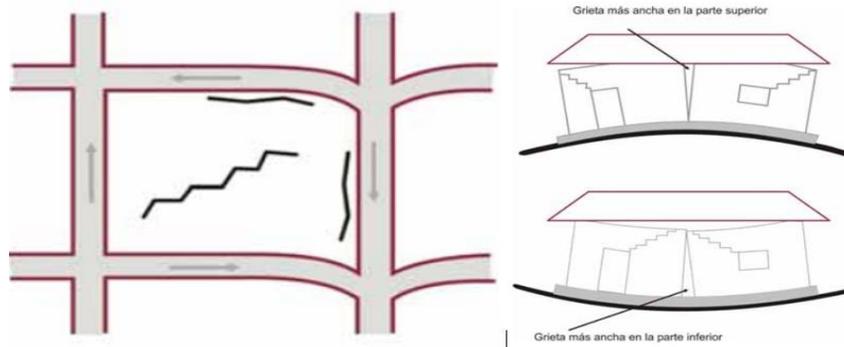
Dado que el tema planteado se basa en una revisión bibliográfica de las patologías que sufren los muros de mampostería, en cuanto a sus posibles causas y las consecuencias que potencialmente generan en las estructuras, es relevante presentar los fundamentos teóricos bajo los cuales se estructura el tema. En tal sentido, el primer aspecto a ser tratado es el de las patologías, las cuales pueden estar presentes en elementos estructurales y no estructurales, cuyos orígenes van desde la inadecuada disposición a nivel de diseño y construcción, hasta las características físicas y mecánicas de los materiales que lo componen y acciones de fuerzas actuantes. De esto, se desprende el segundo asunto a tratar que es la clasificación y origen de las grietas y fisuras que se presentan en los muros de mampostería

no estructural, para finalizar con las potenciales consecuencias que generan las patologías en el comportamiento de la estructura.

En este orden de ideas, las patologías en construcción pueden entenderse como las lesiones o deterioros que sufre algún material, estructura o elemento, cuyo origen es tipo físico, químico o mecánico (Solerpalau, s.f). Si bien todos ellos son importantes para entender las patologías, para el caso particular aquí tratado el enfoque está en los orígenes de tipo físico y mecánico de dichas lesiones, dentro de los cuales se encuentran las grietas y fisuras en las piezas de mampostería y el mortero de pega por mayores sollicitaciones que resistencia a tracción y compresión del muro, y por mayores esfuerzos cortantes en la unión de mortero ladrillo respecto a la adherencia entre estos (Sánchez & Mebarki, 2009). Lo anterior es debido a que los muros de mampostería, tanto los estructurales como los no estructurales, están sometidos a cargas axiales debidas al peso de losas y cubiertas que se apoyan en ellos, así como a cargas horizontales originadas en sismos y vientos, que generan esfuerzos cortantes y flectores por la inercia, y cargas de empuje aplicadas en su plano, tal como son los empujes de tierra, que facilitan el proceso de aparición de grietas, lo que obliga tanto a diseñador como a constructor de disponer de los anclajes adecuados para evitar fallas catastróficas.

Por su parte, para abordar el tema de las principales patologías, que son las fisuras y las grietas, es importante hacer claridad, que mientras las fisuras afectan superficialmente el elemento, las grietas son aberturas no controladas que afectan el espesor del muro (Cámara Industrial de Cerámica Roja, s.f. p.2). Además, se tienen como principales causas las deficiencias en proceso constructivo o en materiales, y las fuerzas externas que actúan sobre el elemento, dentro de las que se encuentran los asentamientos diferenciales en las fundaciones (ver figura 1), distribución desigual de las cargas, así como los efectos de aplastamiento por exceso de carga puntual, y variaciones en la sección transversal del muro, destinada a resistir este tipo de cargas.

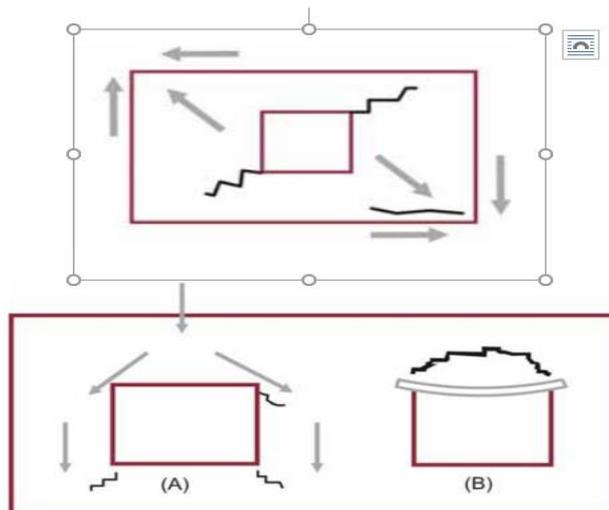
Figura 1
Grietas por asentamiento diferencial



Fuente. Cámara Industrial de Cerámica Roja, p.5.

Otro tipo de grieta o fisura se produce cuando el muro presenta vanos sin el adecuado tratamiento con elementos como dinteles o sillares, puesto que, al estar constantemente sometido a fuerzas de tracción y compresión en el plano, se presentan puntos débiles donde se presentan deterioros, tal como se puede observar en la figura 2.

Figura 2
Efecto de aberturas en fisuramiento



Fuente. Cámara Industrial de Cerámica Roja p.9.

En síntesis, es importante mencionar en este punto que son diversos los escenarios donde se presentan patologías en muros de mampostería, cuya principal causa es una

solicitud de esfuerzos mayor a la resistencia que tiene el elemento para resistirla. Para esto, en el aparte de la revisión bibliográfica, se desarrollarán conceptos de tipos de muro de mampostería, con cada uno de sus elementos y parámetros normativos.

4. Metodología

De acuerdo a lo anterior, y con el fin de plantear una metodología para la recolección, clasificación y presentación de la revisión bibliográfica del tema, es pertinente adelantar un ejercicio de definir las líneas temáticas donde cada autor tiene su énfasis, y que hacen parte del orden conceptual aquí manejado. La tabla 1 que se presenta a continuación, hace parte del mencionado ejercicio, cuyas principales líneas son los mecanismos de falla de los muros en mampostería, las fuerzas externas actuantes, la vulnerabilidad por proceso constructivo y características físicas y mecánicas del material que lo compone.

Tabla 1

Líneas temáticas de patologías en muros de mampostería

AUTOR	LÍNEA TEMÁTICA	IDEA PRINCIPAL	SIMILARES
Viviescas, J. (10)	FUERZAS EXTERNAS Y MATERIAL	El autor presenta los tipos de movimientos que se originan en el terreno, y provocan daños en la mampostería. Estos son de tipo normal o asentamiento, de tipo expansivo, laterales y simultáneos por sismo.	(FOPAE) (Sánchez) (Caez) (Tique)
Tique, J. (10)	TIPOS DE FALLA	Las fallas en la mampostería se clasifican como las ocurridas en el plano y fuera del plano. Los mecanismos de falla dentro del plano son por flexión o compresión, mientras las que están por fuera son de tipo explosivo por la naturaleza frágil del material.	(Arévalo) (Marín) (FOPAE)

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (6)	VULNERABILIDAD Y CLASIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS	Aquí se presentan algunos ejemplos de potenciales daños, dentro de los que se encuentran los muros cortos, cuya característica son las proximidades entre aberturas que llevan a una distribución de esfuerzos inadecuada y presencia de grietas.	(Marín) (Solerpalau) (Cámara de Cerámica Roja)
NSR-10 (13)	CLASIFICACIÓN DE MAMPOSTERÍA	Se presentan clasificación de tipos de mampostería y los elementos que la conforman, así como la normatividad correspondiente.	(Ortiz) (NSR-10 Título D)
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, República del Perú (14)	ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN	Este trabajo tiene su énfasis en las características físicas del material, así como de la matriz formada con el mortero de pega. Presenta las amenazas a las que se expone desde su proceso industrial hasta su uso en la construcción.	(Alcocer) (Meli, et al)

Fuente. Elaboración propia basado en referencias bibliográficas

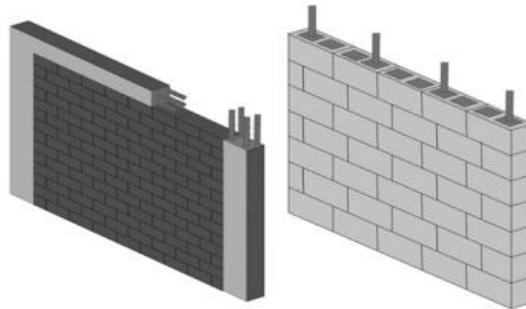
5. Revisión bibliográfica

Para iniciar con la revisión de literatura, es importante mencionar los tipos de muros en mampostería estructural y no estructural y cuáles son sus particularidades, para continuar con las patologías más recurrentes en estos, seguido de las alternativas de intervención correctiva. Así mismo, a través de estos tres grandes temas, se traen a colación algunos casos de estudio que se consideran pertinentes para el contexto colombiano.

En cuanto a los muros estructurales, los sistemas utilizados son muros en mampostería reforzada, parcialmente reforzada, mampostería confinada y muros sin reforzar. La primera que es la reforzada, es de perforación vertical y puede estar totalmente o parcialmente inyectada con relleno grouting, con la particularidad que, si es parcialmente inyectada, solo las celdas inyectadas tienen refuerzo, mientras la parcialmente reforzada cuenta con algunas celdas rellenas, de las cuales algunas no tienen refuerzo. Los muros de mampostería confinada, que pueden ser de perforación horizontal, cuentan con elementos de concreto reforzado alrededor, tal como son las vigas y columnas de confinamiento como

refuerzo principal, y los muros de mampostería no reforzados, que se construyen con unidades de perforación vertical sin inyección de celdas, y cuyo desempeño depende de la resistencia de las unidades y el mortero de pega (ver figura 3) (FOPAE & AIS, 2011, p.17) se utiliza para sistemas con capacidad mínima de disipación de energía DMI en rango inelástico (NSR-10, D.2.1.4). También se encuentran los muros de mampostería no estructural, en cuyo planteamiento debe presentarse una separación con los elementos de la estructura, para que trabajen independientes de esta ante la presencia de cargas horizontales, liberando en el sentido paralelo al plano y restringiéndolo en sentido perpendicular a este con sus respectivos anclajes en la parte superior e inferior. En términos generales, la mampostería confinada es utilizada en edificaciones de uno y dos niveles, mientras la mampostería reforzada es útil para todo tipo de edificación que se diseñe en muros estructurales de mampostería.

Figura 3
Mampostería confinada y mampostería reforzada



Fuente: FOPAE & AIS, p.17.

Los componentes de la mampostería considerados individualmente, como son las unidades, el mortero de pega, el mortero de inyección grouting y el acero de refuerzo, tienen unas especificaciones técnicas importantes para explicar el comportamiento de los muros en mampostería como sistema, en parámetros como la resistencia a la compresión. En consecuencia, las unidades son piezas elaboradas en arcilla cocida, concreto o material sílico-calcáreo, siendo las más utilizadas las primeras dos, cuya forma es de paralelepípedo, y pueden ser de perforación vertical, horizontal o sin perforación, es decir macizas, cuyas perforaciones ocupan menos del 25% del volumen de la unidad (Ortiz, Clasificación de la

Mampostería Estructural, 2022, p.20). Para las unidades de perforación vertical, principalmente, existen unas definiciones importantes que son las paredes y tabiques, siendo las primeras los elementos longitudinales de ambos lados del muro, y los segundos los elementos transversales que unen las paredes o separan las celdas. Esto es relevante, toda vez que sirve para definir en el diseño cuáles áreas del muro llevan mortero de pega, lo que a su vez redundaría en cálculo de la resistencia a compresión del muro. El parámetro de resistencia que deben cumplir las unidades de arcilla se define en la NTC 4205, tanto para mampostería estructural como no estructural, para las de perforación horizontal, vertical y macizas, tanto a nivel individual como en la media simple de cinco unidades a nivel de muestreo por control de calidad. Así, por ejemplo, las unidades de perforación vertical de mampostería estructural deben tener una resistencia mínima a la compresión de 15 MPa a nivel individual, mientras la media de cinco unidades debe ser de 18 MPa; las unidades de perforación horizontal de uso estructural deben tener una resistencia mínima de 3,5 MPa individualmente y 5 MPa en la media, y las unidades macizas estructurales deben cumplir con 15 MPa a nivel individual y 20 MPa en la media (NTC 4205, Tabla 1, p.6). Para las unidades de uso no estructural, utilizadas principalmente en muros divisorios y de cierre, las unidades de perforación vertical y maciza deben resistir 10 MPa individualmente y 14 MPa en la media simple, y las de perforación horizontal 2 MPa individualmente y 3 MPa en la media. De manera similar, se definen resistencias mínimas a compresión para las unidades de concreto medidas a los veintiocho días de su elaboración, según clasificación, que es de bajo, mediano y normal peso unitario, y de alta y baja resistencia. Para las unidades de alta resistencia, el parámetro es de 11 MPa y 7 MPa en baja resistencia a nivel individual, y de 13 y 8 MPa en la media de tres unidades, respectivamente (NTC 4026, Tabla 3, p.7).

Otro asunto importante a tener presente en las unidades es la absorción máxima de agua en 24 horas de inmersión, tanto para las unidades de arcilla como para las de concreto. Para las unidades de arcilla de perforación vertical, horizontal y macizas, la absorción individual máxima es del 16% y la media de 13% si son de uso interior, y de 14% individual y 13,5% la media de cinco unidades para muros exteriores. Lo anterior se encuentra estrechamente relacionado con el procedimiento de pre humedecimiento que debe realizarse a las unidades antes de ser utilizadas para construcción de muros (NTC 4205, Tabla 3, p.8), ya que la unidad tiene capacidad de absorción suficiente para quitar humedad al mortero de

pega, afectando su efectividad dentro del conjunto que forma la mampostería. En este, se utiliza el parámetro tasa inicial de absorción en gr/cm^2 absorbidos en el lapso de un minuto, de donde se establece el tiempo recomendado para humedecer las unidades. Si la tasa inicial de absorción es menor a $0,10 \text{ gr/cm}^2$, se recomienda humedecer 5 minutos, si es menor a $0,15 \text{ gr/cm}^2$, humedecer 1 hora y si es menor a $0,25 \text{ gr/cm}^2$, hacerlo por 24 horas. Por su parte, las unidades de concreto de alta resistencia, la absorción máxima para peso liviano es del 15%, mientras para el liviano es del 12% y el peso normal del 9%; y para los de baja resistencia, los valores son de 18%, 15% y 12%, respectivamente (NTC 4026, Tabla 3, p.7).

Continuando con los componentes de los muros de mampostería, es pertinente presentar los parámetros de calidad de los morteros, tanto de pega como de inyección grouting, para abordar posteriormente el tema de desempeño en los muros de mampostería, describiendo los procedimientos de elaboración y ensayo de especímenes representados en muretes y las variables a ser calculadas. En tal sentido, el mortero de pega se clasifica en cuatro categorías según su resistencia a la compresión; el tipo N, que es el más bajo de 7,5 MPa, seguido por el S de 12,5 MPa, el M de 17,5 MPa y el H que es el más alto de 22,5 MPa (NSR-10, D.3.4.1). Todos estos tipos deben garantizar una retención mínima de agua del 75%, con el objetivo de proporcionar hidratación al cemento que contribuya a mejorar adherencia con las unidades. Así mismo, se definen dosificaciones óptimas de cal hidratada para la mezcla del mortero, con el fin de mejorar la retentividad de agua sin afectar su consistencia, que se encuentra relacionada directamente con su resistencia a la compresión (Ortiz, Mortero, 2022, p.11). Para el tipo de mortero de pega tipo H, por ejemplo, se establece una dosificación en volumen de 0,25 unidades de cal hidratada por 1 de cemento Portland, y entre 2 y 2,5 unidades de arena de pega, similar al tipo M, con la única diferencia del componente de arena que se define entre 2,25 y 3 unidades por cada unidad de cemento, y el tipo S, entre 2,5 y 3,5 unidades de arena. Es importante mencionar que el mortero tipo N no es permitido para los muros de mampostería reforzada (NSR-10, D.7.1.3) ni para la parcialmente reforzada (NSR-10, D.8.1.3). El mortero grouting de inyección, utilizado para rellenar las celdas que tienen refuerzo y algunas que no llevan refuerzo, según diseño, debe tener buena consistencia y fluidez, para penetrar las celdas sin segregación (NSR-10, D.3.5.1). Su resistencia mínima a compresión debe ser 12,5 MPa a los 28 días, o 1,25 veces la resistencia a compresión del muro, y máxima de 1,5 veces de resistencia a compresión del

mismo. Este mortero es de tipo fino o grueso, con la diferencia que el último incluye agregado grueso en una proporción entre 1 y 2 unidades de agregado grueso por una de cemento, y el primero solo incluye agregado fino en proporción entre 2,25 a 3,5 unidades por una de cemento.

Con base en lo anteriormente descrito, se obtiene la resistencia a compresión de los muros de mampostería. Los procedimientos definidos por el reglamento son tres; los registros históricos, determinación experimental sobre muretes y ensayos sobre materiales que los componen (NRS-10, D.3.7.1). Para la determinación experimental de la resistencia a la compresión, se toma la media aritmética de tres muretes de igual procedencia sin exceder el 125% del menor valor obtenido. Dichos muretes deben ser mínimo de 300mm de altura y su relación alto – ancho mayor o igual a 1,5 y menor o igual a 5, siendo su largo el de una unidad completa para los muretes de perforación vertical. En este punto es importante tener presente que el espesor máximo del mortero de pega entre unidades es de 10mm con tolerancia de 4mm, ya que la resistencia aportada por la unidad es mayor que la del mortero de pega, razón por la cual se generan planos de falla en la zona del mortero de pega. Por último, para cerrar esta sección, se presentan algunos puntos mínimos para los muros de mampostería reforzada y parcialmente reforzada. Para los primeros, que se toman a nivel de diseño como de sistema especial de disipación de energía (DES) en el rango inelástico, el espesor mínimo del bloque es 120mm, su resistencia a compresión está entre 10 y 28 MPa, capacidad de disipación de energía R_o en el rango inelástico es 2,5, el espaciamiento entre el refuerzo vertical es menor o igual a 1,2m, refuerzo vertical mínimo de varilla #4 en cada extremo y al lado de los vanos mayores a 600mm y el espaciamiento entre refuerzo horizontal máximo es de 600mm de 4mm de diámetro (NSR-10, D.7.3); para los segundos, los parcialmente reforzados, que se toman a nivel de diseño como de sistema moderado de disipación de energía (DMO) en el rango inelástico, el espesor mínimo es de 120mm, la capacidad de disipación de energía R_o es de 2,0 en rango inelástico, espaciamiento máximo entre refuerzos verticales es de 2,4m, y el espaciamiento máximo entre refuerzo horizontal es de 800mm (NSR-10, D.8.3).

Un asunto relevante a ser tratado es la respuesta sísmica de las edificaciones en muros en mampostería, para el caso de muros de mampostería confinada en contraste con otros sistemas estructurales. Al respecto, la Guía de Diseño Sísmico para Edificios Bajos de Mampostería Confinada (Meli, et al, 2011, p.7) empieza describiendo el proceso constructivo

y funcionamiento de la mampostería confinada, la cual es la encargada de transmitir cargas verticales provenientes de la losa o cubierta hasta la fundación, y resistiendo cargas horizontales en su plano, al actuar como elemento arriostrado o de diafragma en dirección paralela a dicha carga horizontal, cuando en estos no existan grandes vanos en ellos. A diferencia de los muros de mampostería que llenan los espacios entre vigas y columnas de concreto, para los muros de mampostería confinada, el proceso empieza con la construcción de los muros, seguida de los elementos de concreto reforzado, tipo columna y viga de confinamiento, mientras los muros de relleno en sistema de pórticos son elaborados posteriormente a la construcción de los pórticos de concreto reforzado, puesto que para el primer caso son los muros de mampostería los encargados de resistir cargas verticales y horizontales, comportándose como muros de cortante, mientras en el segundo caso son dichos pórticos los que cumplen esta función, mientras los muros actúan con puntales diagonales. Así mismo, comparando las características de los muros de mampostería confinada respecto a los de mampostería reforzada, se considera que los primeros tienen una tecnología más simple en cuanto a su proceso constructivo y en cuanto a su evaluación, toda vez que son los elementos de confinamiento, ubicados en el perímetro de los paneles del muro, los únicos que tienen concreto reforzado, mientras en los muros de mampostería reforzada son las dovelas las que tienen barras de refuerzo y mortero grouting de relleno en los extremos de cada panel, en zonas de intersección con otros muros y en general, donde se considere importante por el efecto de cargas sísmicas, lo que genera mayor exigencia al proceso constructivo y de evaluación o ensayos que deban llevarse a cabo para verificar su correcta ejecución, tal como es el caso de las ventanas de inspección (ver figura 4).

Figura 4

Proceso constructivo mampostería confinada (izquierda) y mampostería reforzada (derecha)



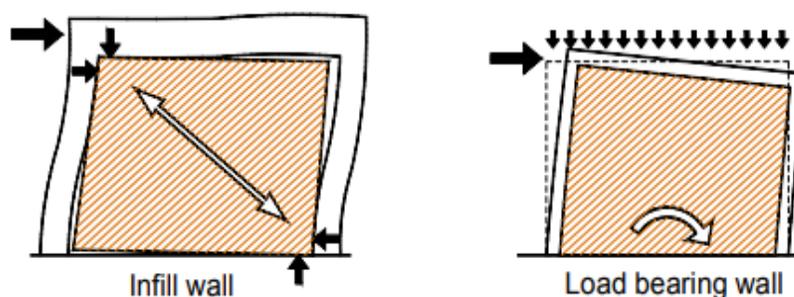
Fuente. Meli, et al. 2011, p.8.

En términos generales, se considera el sistema de mampostería en muros confinados como una alternativa muy conveniente que se ha utilizado en un gran número de países alrededor del mundo en las últimas décadas, tal como son los países mediterráneos Italia, Eslovenia y Serbia, los latinoamericanos México, Perú, Argentina, Chile y Colombia, los de oriente medio y los asiáticos Indonesia y China, dado su comportamiento satisfactorio ante la ocurrencia de sismos y su costo relativo bajo costo respecto al de otros sistemas, por las menores dimensiones en los elementos de concreto reforzado, y las menores especificaciones en el acero de refuerzo en cuanto a su diámetro requerido. Además, cuando han sido construidas viviendas en este sistema, aunque a nivel de diseño y construcción no se hubiese otorgado el suficiente rigor técnico, el comportamiento es adecuado si se respeta la regularidad en planta y espesor en los muros (Meli, et al, 2011, p.11). Lo anterior implica que, cuando se evidencian fallas catastróficas en este tipo de edificaciones ante la ocurrencia de un sismo, es debido a grandes errores constructivos, como falta de continuidad del muro desde la fundación hasta el nivel de cubierta, insuficiente cantidad de muros en ambas direcciones ortogonales e inadecuada conexión de diafragma, además de grandes deficiencias en los materiales. En tal sentido, los tipos de fallas dependen de la sección del elemento de confinamiento de concreto reforzado, como es el caso de las columnas de confinamiento, donde si su dimensión es menor a 1,5 veces el espesor del muro, la grieta puede afectar el panel monolíticamente, es decir a todo el elemento, mientras si la dimensión es superior su

agrietamiento es más parecido al puntal diagonal. Por lo anterior, debido a las secciones transversales de menor dimensión, los muros de mampostería confinada no proveen comportamiento efectivo en su marco, considerándose las conexiones entre viga y columna de confinamiento como articuladas, a diferencia de los pórticos de concreto reforzado, rellenos con muros de mampostería, que presentan conexión a momento entre columna y viga, lo cual constituye un factor importante para la entender el comportamiento sísmico, y por ende parte de las patologías que se presentan en la mampostería (ver figura 5).

Figura 5

Comportamiento sísmico mampostería panel dentro de pórticos (izquierda) y mampostería confinada (derecha)



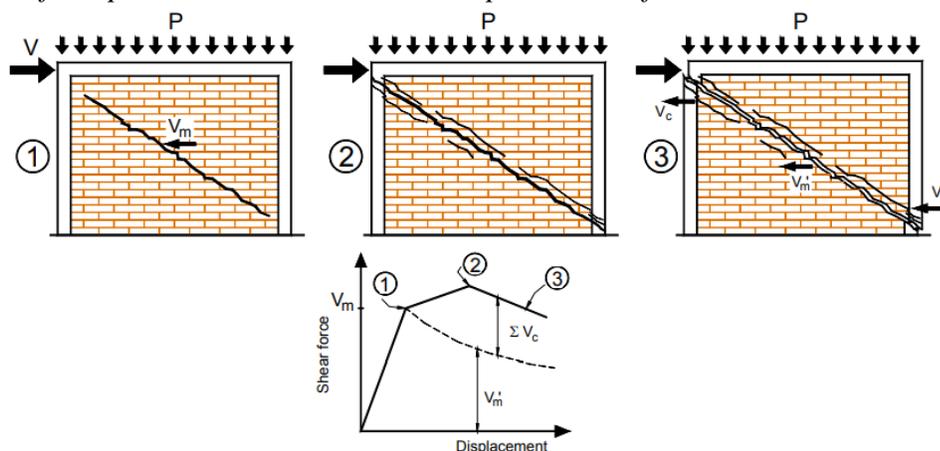
Fuente. Meli, et al. 2011, p.9.

Lo anterior explica la importancia de la separación entre los muros de mampostería y los pórticos de concreto reforzado, ya que debe existir una brecha entre ambos para permitir la deflexión del elemento de concreto reforzado, evitando en gran medida generar tensiones a los muros de mampostería que lleven al mencionado caso del puntal diagonal, especialmente por el bajo nivel de ductilidad que representan estos muros respecto a los elementos de concreto reforzado, haciendo que la naturaleza de su mecanismo de falla sea frágil. Adicional a esto, es importante mencionar que, para los muros de mampostería confinada la capacidad de resistir la cortante proveniente del sismo está definida por la suma de las contribuciones de columna de confinamiento adyacente y la mampostería, tomándose únicamente la contribución de la columna de confinamiento cuando la mampostería ha sufrido daño severo, que es cuando disminuye su rigidez y resistencia, aunque solo alcanza su punto crítico de falla cuando las regiones ubicadas en los vértices presentan deterioro,

indicando esto, que los muros de mampostería confinada pueden desarrollar niveles de ductilidad adecuados antes de fallar por cortante (ver figura 6).

Figura 6

Mecanismo de falla por cortante de muro de mampostería confinada

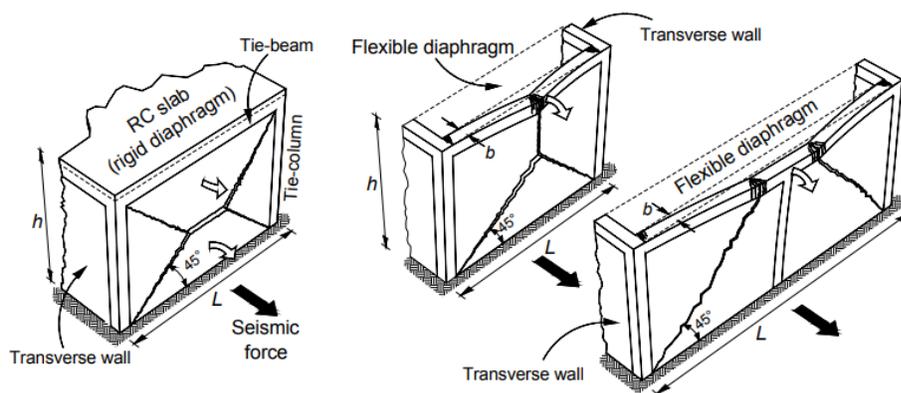


Fuente: Meli et al. 2011, p.11.

En este punto, se observa el comportamiento dúctil de la mampostería confinada, mediante los desplazamientos con respecto a la cortante y la evolución de la falla. Así mismo, dichos muros tienen capacidad de resistir las combinaciones entre carga axial proveniente del área tributaria que le corresponde de la losa que carga, con el momento flector provocado por la carga de sismo, donde la porción que se encuentra a compresión es resistida por el concreto de la columna de confinamiento que se encuentra en la parte comprimida, y por el muro, que se considera de cortante, mientras la parte que se encuentra a tracción es resistida por el refuerzo de la columna de confinamiento, ya que se parte de la hipótesis que ni el concreto ni el muro de mampostería resisten tracción (Meli, et al, 2011, p.14). Otro aspecto relevante que trata este documento es la influencia que el tipo de diafragma de techo o de losa que tenga la edificación ejerce sobre el comportamiento dinámico de los muros de mampostería confinada, donde se concluye que el diafragma rígido transite de manera más adecuada la carga hacia los muros, controlando el mecanismo de falla para evitar colapso, cuando el esfuerzo se genera perpendicular al plano, mientras la situación ocurrida con diafragma flexible en losa, lleva a una distribución independiente de las deformaciones y esfuerzos en su conexión con los muros de mampostería estructural, lo que genera un mayor

riesgo de mayor severidad en las grietas, pudiendo incluso llevar a la falla a la estructura por deformaciones excesivas o por colapso total o parcial de la misma (ver figura 7).

Figura 7
Tipos de diafragma sobre mampostería confinada



Fuente. Meli et al. 2011, p.50.

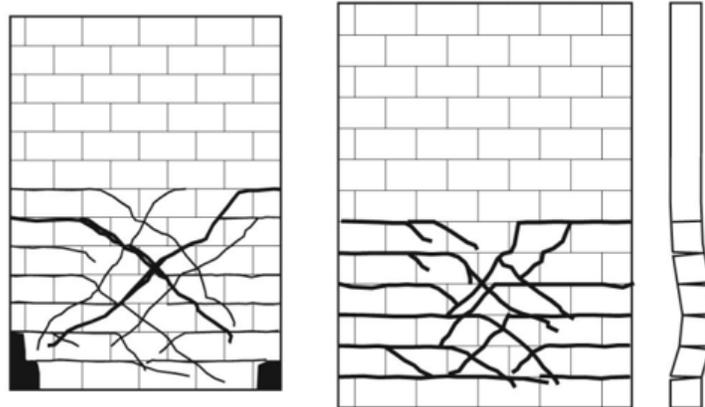
Parte del deterioro que sufrieron las estructuras en los terremotos ocurridos en Pisco, Perú en el año 2007 y en Maule, Chile en el año 2010, se debieron a esta configuración de las edificaciones, donde no fue cuidadoso el proceso para que la losa funcionara como un diafragma rígido, lo que afectó en gran medida el desempeño de edificaciones de mediana altura.

Por otra parte, para retomar el tema central de este trabajo que es de patologías constructivas en muros de mampostería, es importante resaltar el tipo de patologías que sufren estos tipos de muro ante diferentes escenarios. Por ejemplo, los muros de mampostería reforzada presentan comportamiento de flexión dúctil, flexión con corte, flexión con deslizamiento por corte y flexión con inestabilidad fuera del plano, que es el de mayor severidad. Lo anterior implica que las fallas en el plano, donde por naturaleza es más resistente el muro presentan una mayor gradualidad en el nivel de daño, empezando a manifestarse con fisuras horizontales, para terminar en grietas, aplastamiento en bordes inferiores y descascaramientos, mientras la falla por fuera del plano, implican pandeo, refuerzo fracturado, aplastamiento lateral de unidades y fisuración amplia de flexión (ver figura 8). En tal sentido, es evidente que la falla por fuera del plano para los muros de mampostería de cualquier tipo, representa un nivel de amenaza mayor, por concentrarse los

esfuerzos en su parte más débil, ocasionando daños en las unidades que pueden llevar con mayor facilidad al colapso.

Figura 8

Falla en el plano vs falla fuera del plano

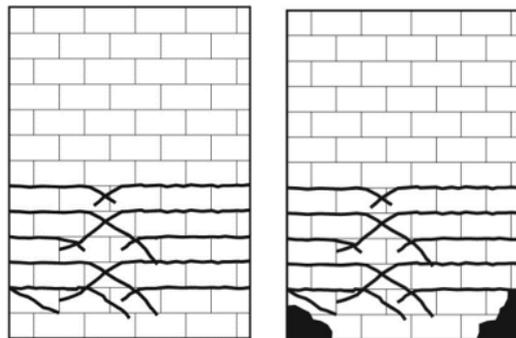


Fuente. FOPAE & AIS, p.87.

La figura 9, que se observa a continuación, presenta el contraste visual de la falla ocurrida dentro del plano para muros de mampostería reforzada, por flexión dúctil en sus niveles de daño moderado (izquierda) y severo (derecha).

Figura 9

Falla en el plano por flexión dúctil

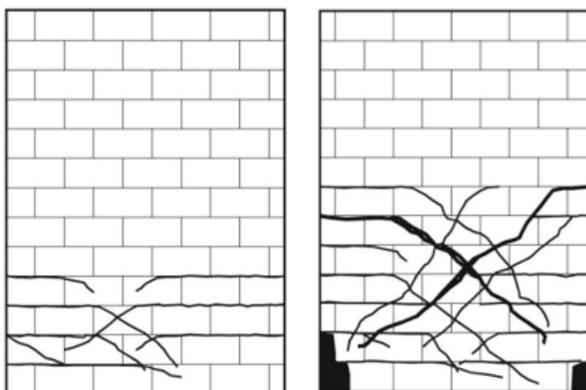


Fuente. FOPAE & AIS, p.83.

A su vez, la figura 10 presenta la situación de daño por falla dentro del plano en mampostería reforzada para el caso de flexión con corte, con nivel de daño moderado a la izquierda y severo a la derecha.

Figura 10

Falla dentro del plano por flexión con corte



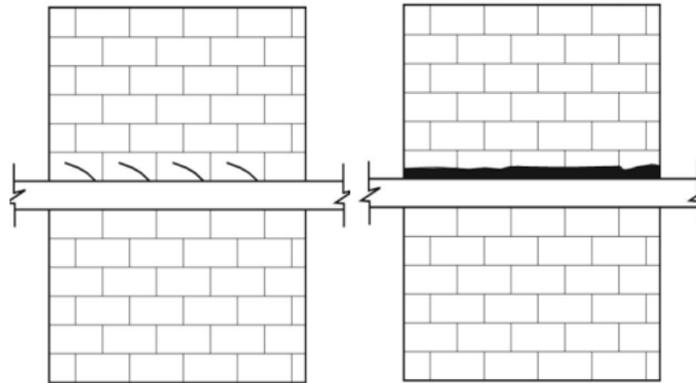
Fuente. FOPAE & AIS, p.85.

Las diferencias visuales respecto a ambos tipos de situaciones es que para flexión por corte se nota mayor espesor, de más de 6mm respecto a las de flexión dúctil de más de 3mm, así como mayor concentración de las grietas, tanto las horizontales como en las diagonales, aunque con similar apariencia en el aplastamiento en los bordes con ancho mayor que el tamaño de 1,5 veces la unidad y refuerzo visiblemente pandeado o fracturado (FOPAE & AIS, 2011, p.85).

Otro tipo de patología dentro del plano es el denominado comportamiento de flexión con deslizamiento por corte, que se presenta cuando el muro de mampostería reforzada tiende a deslizarse con respecto al elemento de concreto reforzado donde se soporta. A continuación, la figura 11 ilustra esta situación en los niveles de daño moderado y severo.

Figura 11

Falla por flexión con deslizamiento

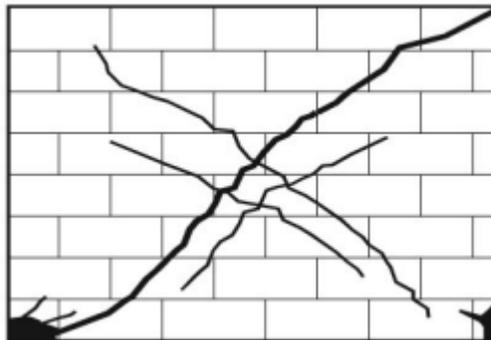


Fuente. FOPAE & AIS, p.86.

Cuando se trata de muros en mampostería aislado, también conocido como muro aislado, pila débil o pilastra, las patologías que se presentan se relacionan con el corte incipiente, cuyo espesor de grietas puede ser mayor a los 9mm, dado que los esfuerzos se concentran en un área menor que los muros de mayor magnitud (ver figura 12).

Figura 12

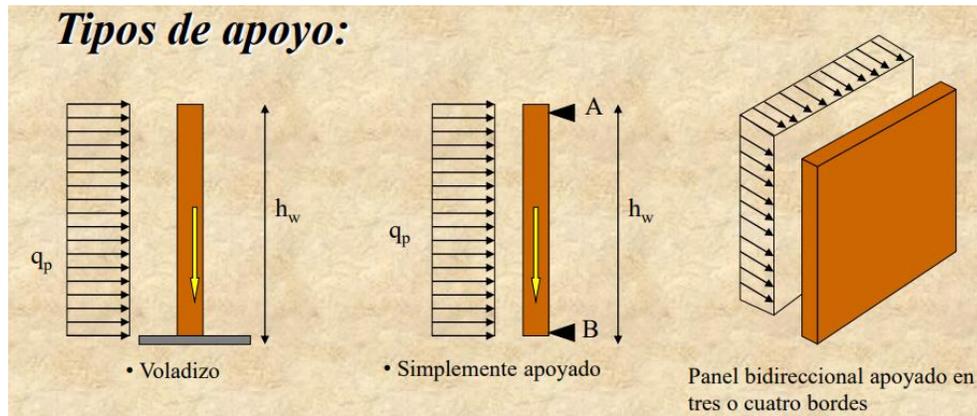
Falla en el plano de muro pilastra



Fuente. FOPAE & AIS, p.86.

De igual manera, es importante hacer mención de los muros no estructurales de mampostería, aparte de la fisuración por flexión, aplastamiento de bordes y deslizamiento de juntas, similar al comportamiento de los muros estructurales, se presenta la falla por fuera del plano, que depende en gran medida de la cantidad de soportes o restricciones que tenga cada panel (ver figura 13).

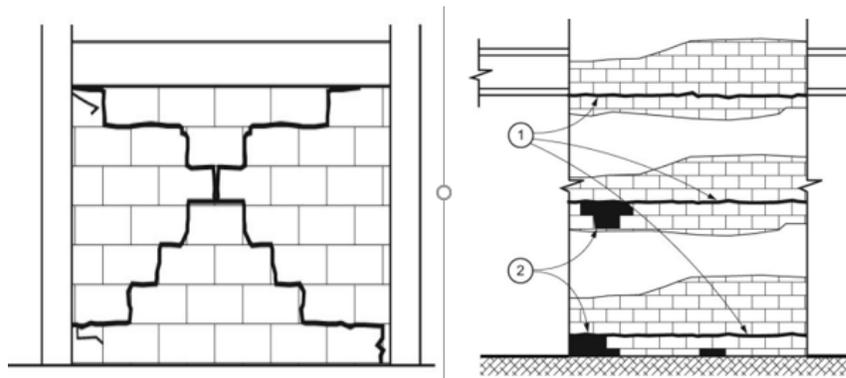
Figura 13
Tipos de apoyo muros no estructurales



Fuente. Ortiz, Curso de mampostería estructural, Muros no estructurales, p.57.

Cuando se restringe el muro en su parte inferior y superior, el mecanismo de falla es como lo muestra la figura 14, y depende de estar sometido el panel a esfuerzos mayores a los que resiste.

Figura 14
Falla en mampostería no estructural restringido en sus cuatro y dos lados, respectivamente



Fuente: FOPAE & AIS, p.100.

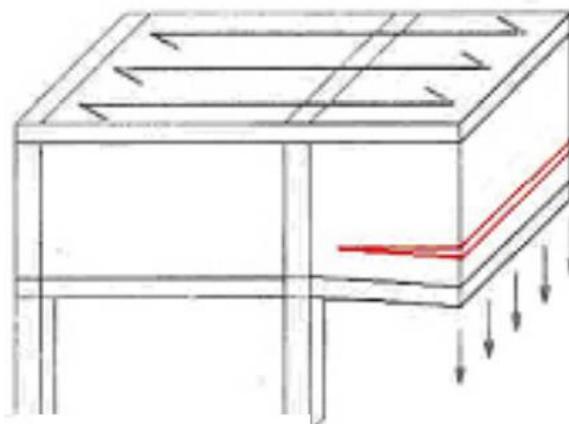
Dependiendo si la falla se presenta por las pegas o por las unidades, se determina cuál elemento debe tener mayor cuidado en términos de calidad, además de determinarse si la falla es por fuera del plano, se evalúa cómo reforzar el sistema de anclajes del muro, restringiendo su movimiento por fuera del plano, sin adosarlo a la estructura de concreto

reforzado, permitiendo su movimiento en el plano para evitar afectaciones a la misma, por esfuerzos torsionales no deseados (Ortiz, Mampostería no estructural, p.21).

De igual manera, existen una serie de errores en la concepción y elaboración de los muros de mampostería no estructural, que tradicionalmente se han presentado en el medio colombiano, y se relacionan con la falta de rigor técnico y de conciencia acerca de la importancia que representan este tipo de elementos dentro del sistema constructivo. Algunos de dichos errores se relacionan con las aberturas o regatas horizontales que se realizan para la colocación de tubería eléctrica o hidráulica, restándole sección efectiva al muro, desprendimiento de chapas por el inadecuado anclaje, colapso de áticos por falta de diseño a flexión y vinculación inadecuada a la estructura y presencia de voladizos con deformaciones por flecha excesivas (ver figura 15).

Figura 15

Falla en mampostería no estructural de fachada por voladizo

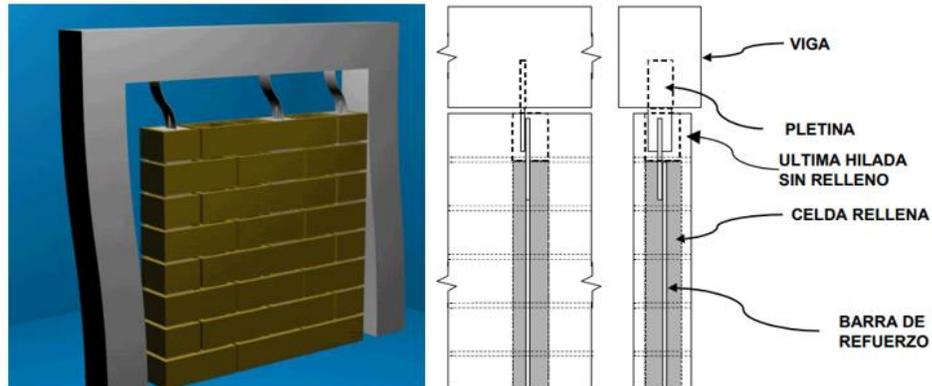


Fuente. Ortiz, Curso de mampostería estructural, Muros no estructurales, p.107.

Tal como se mencionó anteriormente, los muros de mampostería no estructural no deben estar adosados a la estructura, liberándose su comportamiento en el sentido paralelo al plano para obtener una deformación independiente a la de la estructura, pero restringiéndose en sentido perpendicular al plano para evitar fallas catastróficas. Para esto, en la parte superior puede plantearse el uso de platinas dúctiles embebidas en el muro de mampostería y ancladas al elemento de la estructura desde la parte superior del muro, cuya hilada superior deberá estar vacía (ver figura 16), o utilizar ángulos anclados a la viga superior, que restrinjan el movimiento.

Figura 16

Conexión superior mampostería no estructural con viga de concreto

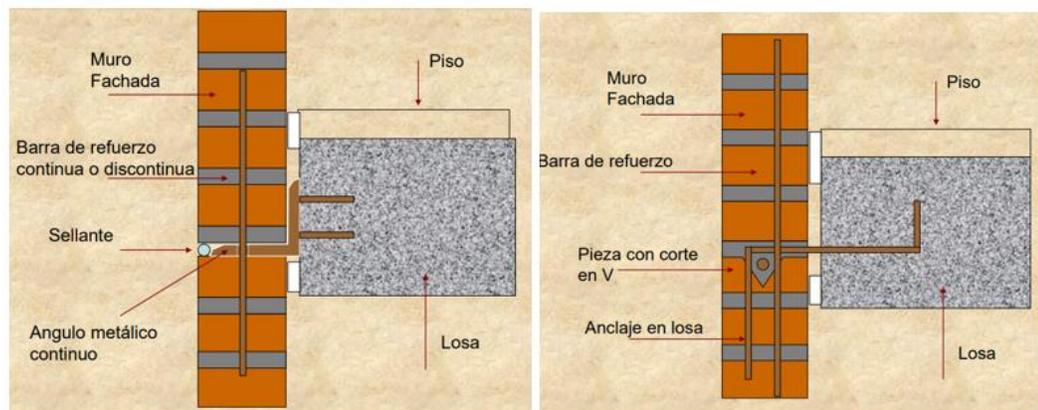


Fuente. Ortiz, Curso de mampostería estructural, Muros no estructurales, p.14.

De forma similar es el tratamiento que debe otorgarse a los muros de fachada, los cuales para determinados casos se construyen en mampostería no estructural, y son de tipo flotante, enchapada o revocada. Para el primer caso, el muro está completamente afuera de los elementos de la estructura, lo que hace necesario generar unos anclajes adecuados en cada entrepiso, sea en viga de borde o losa, que proporcionen soporte y fijación, evitando desprendimientos y colapsos. Para esto, se utilizan ángulos metálicos y varillas con escuadra, con el respectivo sellante para evitar posibles erosiones y planos de falla (ver figura 17).

Figura 17

Anclaje de fachada flotante



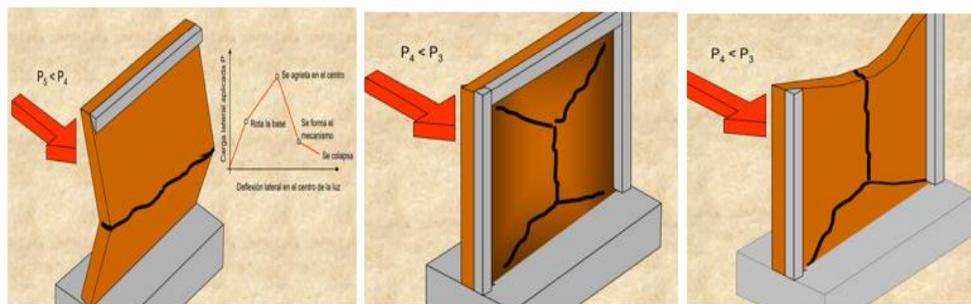
Fuente. Ortiz, Curso de mampostería estructural, Muros no estructurales, p.40.

En cuanto a la fachada enchapada, en la cual el muro se encuentra parcialmente dentro de las vigas y losas de concreto reforzado de la edificación, el tratamiento es similar al de fachada flotante en cuanto a la instalación de barra de acero de anclaje con su respectivo proceso de sellado, similar a la fachada en mampostería revocada, la cual se encuentra dentro de la losa, lo que da lugar a espacios vacíos en las uniones entre muro y losa o viga, donde pueden generarse humedades y agrietamientos que deben ser evitados. (Ortiz, Mampostería no estructural, p.40). Por su parte, otra de las particularidades con los muros de mampostería no estructural, es que a diferencia de los muros de mampostería estructural, estos deben plantearse con su respectiva trabe cuando son adyacentes a otros muros no estructurales, debiéndose empezar su modulación en las esquinas de los mismos ya que, de esta manera se mejora su desempeño ante la aplicación de cargas horizontales perpendiculares a su plano, como es el viento, el sismo o el empuje del terreno, según sea el caso.

Los estados de deformación de los muros de mampostería ante la aplicación de cargas perpendiculares a su plano, especialmente para el caso de los no estructurales, empieza con una deformación inicial mínima, hasta el punto donde se presenta la rotación de la base, que es un punto de inflexión donde se acelera el proceso de deformación por deflexión, luego sigue el agrietamiento en el centro, cuya forma depende de los apoyos que tenga el panel respectivo, para finalmente pasar a la rotura (ver figura 18).

Figura 18

Evolución de falla por fuera del plano y por tipo de apoyo



Fuente. Ortiz, Curso de mampostería estructural, Muros no estructurales, p.75 – 81.

La naturaleza de las patologías, tal como se mencionó en un aparte anterior, es de tipo físico, químico o mecánico. Las lesiones físicas tienen origen en fenómenos como la

humedad, la erosión o la suciedad, siendo la humedad un fenómeno que altera la composición del material al exceder el porcentaje de agua contenido respecto al considerado normal o admisible. Este tiene diversos orígenes y manifestaciones, dentro de las que se cuenta la ascensión por capilaridad, dada la naturaleza porosa del material de la mampostería, que se compone principalmente de unidades de arcilla y concreto, lo que puede ocasionar problemas erosivos en los muros y presencia de hongos y eflorescencias. También pueden presentarse filtraciones a través de fachadas y cubiertas, así como condensaciones por diferencia en las presiones del vapor y humedades accidentales por roturas en tubos. Para esto es vital llevar a cabo un adecuado proceso de impermeabilización, principalmente en las primeras hiladas del muro y en sobre cimientos. En cuanto a los procesos de erosión, entendida como la pérdida de material en la superficie total o parcialmente, se genera por dilataciones producidas por agentes atmosféricos principalmente por cambios de clima, que ocasionan tensiones internas en el material por dilataciones. Las lesiones de tipo químico se originan por presencia de sales, ácidos o álcalis afectan la durabilidad e integridad del material. Dentro de estas se encuentran las eflorescencias, que consisten en el arrastre de sales por parte del agua y que se cristalizan en la superficie al presentarse la evaporación, además se presentan oxidaciones que se presentan en los elementos de acero de la mampostería por presencia de agua, que lleva a la corrosión (Broto, 2005, p.7-11). De este documento se destaca la exposición del proceso de estudio de las patologías, el cual inicia con el análisis de los atributos que deben tener los elementos a ser analizados, tal como la resistencia esperada, la forma, integridad y aspecto, para tener un panorama claro de cómo es el elemento sin presencia de patologías. Luego sigue el proceso de observación, en este se detecta la lesión, identificar el tipo de lesión y aislarla para realizar seguimiento a su evolución; posteriormente se realiza el proceso de toma de datos, para lo que se definen las variables, metodología y periodicidad de medición según la naturaleza de la lesión, incluyendo esto la toma de muestras, preparación de probetas, como son los muretes. Finalmente, se presenta el análisis de resultados, del cual se basa el análisis del proceso patológico, donde se llega a las conclusiones y respectivo diagnóstico, acerca de las causas, su naturaleza y propuestas para reparación y restauración.

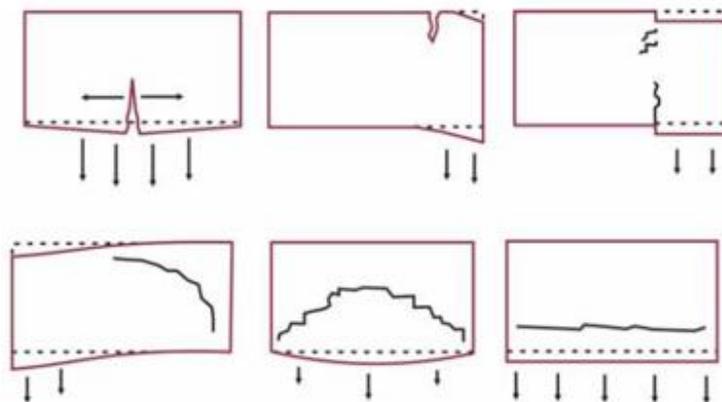
Por otra parte, la revista de Concreto, que describe el hecho de que los muros en mampostería tienen gran incidencia en el comportamiento dinámico de la estructura por la

gran rigidez que aportan, aunque en ocasiones presenten poca resistencia fuera de su plano, además, que cuando su ejecución es inconsciente pueden conllevar a errores tales como el denominado fenómeno de columna corta, que deja aberturas totales entre columnas con muros que no abarcan la altura total de ellas, generando distribución inadecuada de esfuerzos que afectan la estructura propiamente, es decir que aparte de errores dentro del elemento no estructural, se induce la falla en columnas, que son parte vital de la estructura (Concreto, 2022). De igual manera, existe un manual de evaluación de nivel de daños en viviendas ante la ocurrencia de un sismo (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, s.f, p.3-13), donde se presentan casos de errores en la concepción de edificaciones en mampostería, principalmente por el exceso de aberturas en los muros con respecto a su área, y por la ausencia de elementos de borde para mitigar los efectos nocivos de los puntos débiles. Se tiene el caso de los muros cortos y de pilastras, que se trata de proximidades entre vanos en un muro, lo que concentra las cargas en secciones muy reducidas, provocándose grietas en forma cruzada, con alto nivel de peligrosidad para la integridad de la estructura, especialmente si se presenta un sismo de magnitud importante. De aquí se desprenden los niveles de severidad del daño, que son leves cuando se presentan fisuras en mortero y juntas, son moderados cuando crecen las fisuras en los extremos, pero no existe abertura aun, y son severas cuando se presenta desplazamiento relativo, abertura de grietas y rotura en unidades de mampostería.

Así mismo, se reconoce como una de las principales causas de agrietamientos, aquellas relacionadas con la geotecnia, cuyas causas van desde los asentamientos del terreno a causa de las cargas de la edificación, como al empuje que ejerce el terreno sobre los elementos de la estructura y que son transmitidas a los muros (Viviescas, 2010, p.39). En el mismo artículo, se retoma el tema de la definición de grieta y de fisura como discontinuidades o interrupciones de cualquier elemento constructivo, incluso en taludes que pueden comprometer la estabilidad de los mismos. También se centra este artículo en la clasificación de estas discontinuidades según su medida, donde las menores a 1 mm se consideran estrechas, mientras las que van hasta los 5 mm son amplias, y las mayores son consideradas muy amplias. Parte de sus causas para los muros de mampostería, como se mencionaba anteriormente, es de naturaleza geotécnica, según el sentido del movimiento del terreno; por ejemplo, se presentan asentamientos que son de tipo normal, también puede presentarse el

movimiento expansivo que es el inverso al asentamiento, el movimiento por deslizamiento de tierra y flujos con gran componente lateral en la fuerza, y los movimientos simultáneos originados por la ocurrencia de un sismo. De igual manera, clasifica la grieta en muros de acuerdo a la orientación y tipo de esfuerzo, donde la orientación puede ser vertical, perpendicular a la cimentación, diagonal con respecto a esta o paralela. (ver figura 5). Los esfuerzos, como consecuencia, son varios tipos, donde las tensiones o esfuerzos a tracción están caracterizadas a menudo por mayores aberturas en sus discontinuidades, mientras los esfuerzos de tipo cortante presentan separaciones más estrechas, pero con desplazamientos laterales, y los esfuerzos de compresión, por su parte, se manifiestan con discontinuidades estrechas, aunque con abultamientos. La figura 19, tomada de la ficha técnica del documento “Patologías en Mampostería de Cerámica Roja” (Cámara Industrial de Cerámica Roja, s.f), ilustra los efectos originados en los asentamientos mencionados y los esfuerzos sobre los muros de mampostería.

Figura 19
Orientación de grietas según ubicación del esfuerzo



Fuente. Cámara Industrial de Cerámica Roja. p.6.

Por otra parte, este artículo (Tique, 2004, p.12) se centra en el comportamiento dinámico de edificaciones en mampostería no reforzada y confinada. Al respecto, el autor expresa que aparte de las propiedades del material, como la resistencia, la rigidez y ductilidad de los paneles de mampostería, el comportamiento dinámico de estos elementos depende del tipo de diafragma de piso, sus conexiones con la estructura y las cargas axiales a las que se

somete. En tal sentido, el mismo artículo hace claridad en que la capacidad de la mampostería de resistir cargas laterales tiene una importante relación con su sometimiento a cargas verticales, es decir que esta sea moderada, tal como es el ejemplo del piso superior, cuya carga axial es baja, por lo que su capacidad de deformación es baja, además que su tipo de falla es frágil o explosiva. Esto es importante, toda vez que ayuda a explicar las patologías en mampostería no reforzada, y que hace parte de una estructura de concreto reforzado, ya que su comportamiento dinámico es diferente, lo que origina daños importantes de no contar con los anclajes adecuados. Para destacar en este trabajo, la clasificación de las fallas como las que ocurren fuera del plano y las que ocurren en el plano, siendo las primeras más catastróficas por ser explosivas, especialmente en los antepechos, ya que si no se encuentran restringidos funcionan como muros en voladizo, mientras las segundas son por flexión o compresión, dependiendo de la relación de altura y ancho del panel, puesto que si el muro es más alto que ancho, predomina la flexión y en caso opuesto predomina la falla por cortante.

Existen otros trabajos que complementan las temáticas relacionadas con materiales y fuerzas externas, como es la de la calidad y clasificación del material del que se compone la mampostería y los efectos de aplicación de cargas horizontales sobre los muros. Aquí, se destaca el artículo denominado “Comportamiento de Muros en Mampostería Reforzada con Carga Paralela al Plano” (Arévalo, 2004, p.20), donde se describen las unidades, el mortero de pega, el mortero de inyección y el refuerzo, con sus características como las partes integrantes de un muro de mampostería. En cuanto a las unidades, estas son clasificadas como de perforación horizontal, vertical o macizas, siendo las de perforación vertical las que facilitan el relleno y refuerzo según diseño, además de presentar una mayor resistencia a la compresión respecto a las unidades de perforación horizontal. En este, se contrasta como resultado de promedio simple, la resistencia con la que deben cumplir las unidades de perforación horizontal, de 5 kg/cm², mientras la de perforación vertical es de 18 kg/cm² y la maciza de 20 kg/cm². Lo anterior hace parte del conjunto que forma la mampostería, y es de vital importancia para su comportamiento mecánico, principalmente para entender la vulnerabilidad a sufrir las patologías descritas a lo largo de este trabajo. Adicionalmente, se enfatiza en los sistemas de mampostería estructural como lo es la reforzada, cuya principal característica es que son fundamentalmente muros portantes, por lo que se requiere de un diseño y control de gran rigor, por ser este la totalidad del sistema estructural de la edificación

para ese caso particular. Por tal razón, se presentan grandes limitaciones con respecto a los vanos y luces que se pueden plantear a nivel arquitectónico, ya que estas son origen de puntos de concentración de esfuerzos que llevan a presentar agrietamientos, con el agravante que se trata de la estructura y no de solo particiones como en otros casos.

Se tiene otro caso de estudio documentado de patología en unas cabañas, en cuanto a causas y soluciones (Marín, 2017, p.72, 73 y 75). Aparte de mostrar un proceso metodológico en cuanto a la identificación, clasificación y análisis de patologías constructivas, en este documento se presentan ejemplos de problemas tipo fisura en los muros de mampostería originados por invasiones que llevan a la pérdida de continuidad, aparte de los asentamientos no previstos al ejecutarse la obra. También se encuentran casos de inadecuada modulación de las unidades, dado que, si estas forman parte de muros no estructurales, deben presentar trabas en sus vértices, para evitar en gran medida los posibles desprendimientos en plano vertical al encontrarse estos trabajando de manera independiente. Este caso es contrario a cuando se plantean muros de mampostería estructural, que deben estar separados y contar con las respectivas juntas de dilatación, ya que estos están concebidos para solicitaciones de flexo compresión, y su diseño y construcción así se desarrollan. Es decir, que parte de las patologías en mampostería usadas en este caso de estudio, se originan en muros no estructurales de mampostería, cuya ausencia del debido traslapo o modulación con trabas entre muros perpendiculares, llevan a separaciones por efecto de fuerzas externas, tal como son los asentamientos diferenciales, lo que origina la aparición de fisuras que pueden convertirse en grietas según su severidad. También se tiene relación con los orígenes de las patologías que se planteaban anteriormente, que son el físico, químico y el mecánico, siendo parte de las físicas la retracción hidráulica, expansión térmica, mayores tasas de absorción de humedad, fallos en adherencia en anclajes, entre otras que afectan el desempeño del material; y para el origen mecánico, se trae el ejemplo de las solicitaciones como las geotécnicas y las cargas que producen esfuerzos de compresión, tracción, flexión, cortante y torsión (Marín, 2017, p.23).

Continuando con la revisión de casos, es pertinente traer a colación un trabajo que señala las condiciones propicias para el desarrollo de patologías en construcciones de muros de mampostería en la ciudad de Barranquilla, dada su condición climática y de humedad en el ambiente, lo que induce a cambios volumétricos que resulten en grietas, que varían según

calidad del material y disposición del mismo dentro del proceso constructivo (Caez, 2004, p.28). Al respecto, este trabajo enfatiza en la propiedad física de flujo plástico, que es aquella deformación permanente y progresiva que sufre un material al encontrarse expuesto a cargas permanentes. Para este, las variables son el coeficiente de expansión térmica y los movimientos por humedad. La conclusión para la expansión térmica, es que las unidades de concreto presentan cambios volumétricos mayores respecto a las de arcilla, y a su vez estos son menores que en materiales como el concreto o el acero, llegando estos a expandirse 6,6 veces y 7,8 veces respectivamente frente a las unidades de arcilla. Por su parte el movimiento por humedad es mayor en las unidades de arcilla, ya que estas solo se expanden así se incrementa o disminuya su contenido de humedad. Esto es pertinente dentro del contexto aquí tratado, ya que el exceso de humedad puede llevar a fenómenos asociados con el crecimiento del muro en todas las direcciones, llevando a concentraciones problemáticas de esfuerzos en las esquinas, principalmente cuando se trata de muros diafragma o cuando se encuentran encerrados en paneles entre columnas y vigas de concreto, pudiendo ocasionarse cargas adicionales sobre la estructura, manifestadas como rotaciones y grietas. Es aquí donde es necesario el uso de unidades de alta calidad, así como adecuadas separaciones entre el panel y los elementos estructurales de concreto armado, y por supuesto humedecer la unidad correctamente antes de ser instalada.

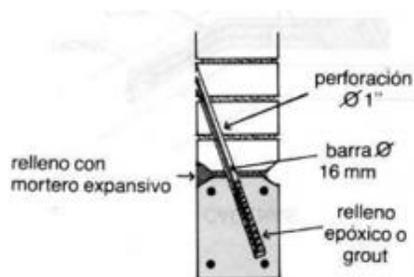
Luego de revisar los aspectos relacionados con la construcción y patologías de los muros de mampostería, es pertinente presentar algunas propuestas de intervención correctiva, según la naturaleza del daño. Para empezar, cuando se presentan agrietamientos en mampostería reforzada, y estos no representan un alto nivel de severidad, el primer paso de corrección es picar y eliminar el residuo del elemento dañado, para posteriormente humedecer la superficie, aplicar adherente con brocha, para 3 horas más tarde de aplicar el mortero en área afectada con una dosificación cemento arena de 1:4 hasta el rebose y humedecer por 7 días para un adecuado proceso de curado (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú, 2014, p.31). Otro origen de patologías en muros de mampostería es de humedecimiento por ascensión capilar, el cual se identifica por presencia de manchas en la parte inferior. Dicho fenómeno se explica por la ascensión de agua por materiales porosos como son el concreto y la arcilla. Sus causas van desde la rotura de un tubo, hasta la filtración de aguas de escorrentía y presencia de humedad propia del terreno.

Para esto, se plantea la solución de excavar la zona afectada hasta identificar la totalidad de la superficie humedecida, luego se extrae el material afectado y reparar posibles fugas, para posteriormente cubrir con pintura asfáltica y esperar 8 horas para rellenar y compactar (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú, 2014, p.15).

Por otra parte, para las fallas o patologías ocasionadas por esfuerzos cortantes que superan la capacidad del muro, cuyo origen pueda deberse a defectos de diseños, a la insuficiente adherencia entre mortero de pega y las unidades, baja calidad en los materiales, tanto en la pega como en las unidades o por fallas en las armaduras horizontales y verticales donde se deba instalar acero de refuerzo, entre otros mencionados a lo largo de este trabajo, se presentan otras estrategias de reparación de mayor alcance dependiendo de la severidad del daño, como es la instalación de anclajes epóxicos e instalación de armaduras en zonas agrietadas, luego de generar cortes con disco a lo largo de las fisuras o grietas y antes de rellenar con mortero expansivo (Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, p.14). Para lo anterior, es factible que deban realizarse cortes longitudinales en los muros de mampostería cada 60cm aproximadamente, para insertar barras de acero que generen un amarre adecuado, y dependiendo del caso, trabe con otros muros para un adecuado funcionamiento. En cuanto al procedimiento para el anclaje epóxico de mampostería con algún elemento de concreto reforzado, este documento propone llevar al cabo una perforación inclinada que abarque tres hiladas de unidades y penetre en el elemento de concreto con un ancho aproximado de una pulgada, para insertar una barra #5 (5/8" de diámetro) y rellenar con mortero expansivo (ver figura 20).

Figura 20

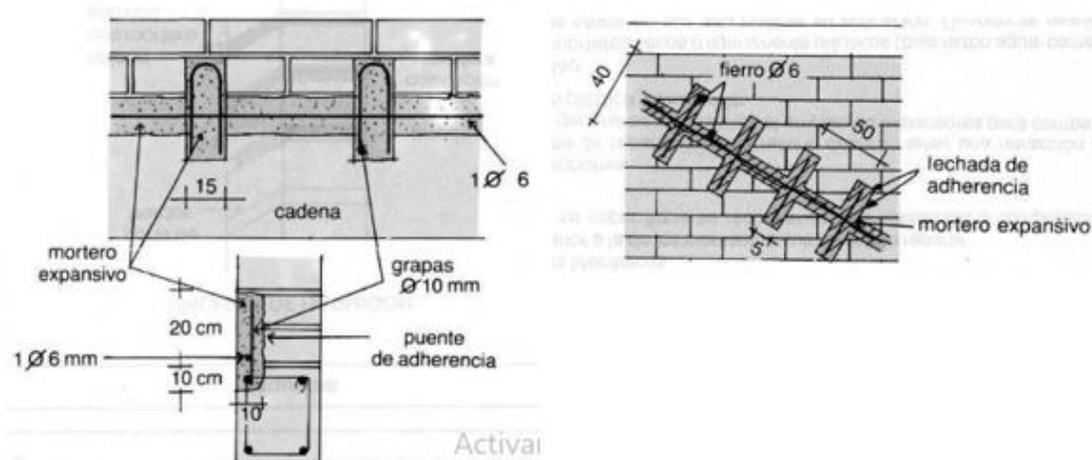
Anclaje a elemento de concreto reforzado



Fuente: Instituto chileno del cemento y del hormigón, p.33.

Otro procedimiento descrito para intervenir patologías en muros de mampostería es el grapado, el cual puede ser utilizado para anclaje a elemento de concreto o para intervenir solo las áreas afectadas por grietas en el muro de mampostería (figura 21).

Figura 21
Técnica de intervención por grapado



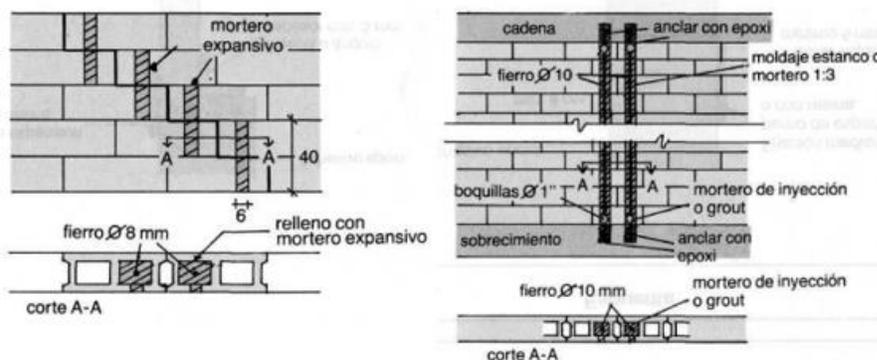
Fuente. Instituto chileno del cemento y del hormigón, p.36.

Para el primer procedimiento, es decir el anclado al elemento de concreto reforzado, se procede a picar un área de aproximadamente 10x10cm en el concreto, así mismo se pica un área en el muro de mampostería para la ubicación de las grapas de aproximadamente 15x30cm; luego se ubican las barras longitudinales y las que forman la grapa, cuyo diámetro sugerido es de 1/4" y longitud de 50cm por llave, para lo que se utiliza epóxico para la unión varilla concreto, y relleno con mortero expansivo para las perforaciones, con su respectivo curado húmedo de siete días. Para el segundo procedimiento, el que se observa a la derecha de la figura 13, se debe llevar a cabo un corte superficial en V a lo largo de la grieta entre 5 y 7,5cm de ancho, para luego picar transversalmente a la grieta 40cm x 5cm de ancho a cada 50cm, para ubicar barras de refuerzo en ambos sentidos, aplicando lechada de adherencia y rellenar con mortero 1:3.

Otra situación que se presenta es que el muro de mampostería deba ser reforzado parcialmente para su reparación (Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, p.35). Dicho

procedimiento consiste en picar la pared del bloque hasta llegar a la celda, en unidades de perforación vertical, con una longitud superior a 20cm a cada lado de la grieta y 6cm de ancho, ubicar barra de acero de 8mm y rellenar con mortero expansivo como se observa al lado izquierdo de la figura 22.

Figura 22
Refuerzo en celdas de perforación vertical



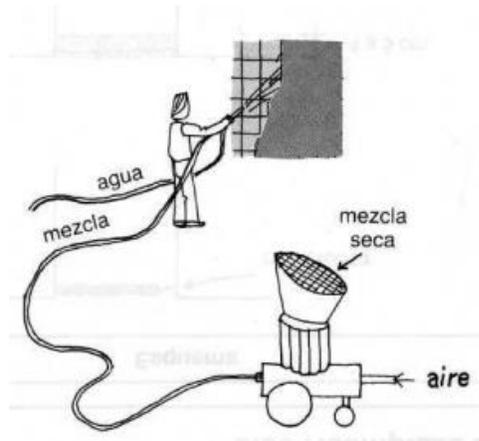
Fuente. Instituto chileno del cemento y del hormigón, p.35.

Se observa al lado derecho de la figura 14 una intervención similar a la descrita en el párrafo anterior, pero con el uso de anclaje epóxico en el elemento de concreto de mínimo 20cm de profundidad una varilla con diámetro de 3/8", que es la misma que se ubica en el resto de la altura del muro por la celda. El corte se realiza en toda la altura del muro, dejando boquillas de 1" en las partes inferior y superior para inyectar mortero expansivo tipo grouting, y tapa de formaleta en el resto de la longitud. Este último tipo de intervención se recomienda cuando la severidad del daño es alta, es decir que la estabilidad del muro y posiblemente de la estructura se vea amenazada. Esto tiene relación con lo descrito al principio de este aparte, donde se presentan los tipos de muros de mampostería, donde se encuentran los parcial y totalmente reforzados, cuyo diseño y construcción parte de unas solicitaciones esperadas, tanto para cargas gravitacionales como horizontales, con base en situación de nivel de energía que se espera disipe, cargas de vientos y de empujes de tierra esperados. Esto implica que, según el comportamiento manifestado por la mampostería deba plantearse su reforzamiento en toda la longitud de las celdas adicionales a las que se encontraran reforzadas en el momento de la falla. Esto quiere decir que el alcance de la intervención depende de la

severidad y situación estructural del muro de mampostería, es decir si se trata de un muro estructural o no estructural, si su falla es en el plano o fuera del plano. En tal sentido, en el siguiente párrafo se hace mención de otra alternativa de reforzamiento a nivel estructural de la mampostería, que es la reforzada externamente con malla electrosoldada y mortero lanzado (ver figura 23). Uno de sus principales usos es cuando se presentan fallas superficiales extensas o repetitivas, y para mejorar su desempeño al ser sometido a cargas horizontales.

Figura 23

Muro reforzado externamente



Fuente. Instituto chileno del cemento y del hormigón, p.19.

Existen trabajos que explican la importancia del tipo de muro reforzado externamente, como método de intervención en muros de mampostería con patologías, especialmente ante la ocurrencia de sismos que afectan su integridad (Alcocer, S, Ruiz, J, Pineda, A & Zepeda, 1996, p.8). Se demuestra por parte de estos autores, al llevar a cabo la experimentación con cuatro especímenes, que fueron probados aplicando cargas cíclicas horizontales con simulación de sismo, que su desempeño mejora sustancialmente al instalarse la malla electrosoldada cubierta con mortero. Sus conclusiones van desde el patrón de las grietas, cuya distribución mejora en los muros cubiertos con 25mm de mortero respecto a los que no tienen tal cobertura, además que el refuerzo horizontal es el que mayor incidencia tiene en el aumento en la resistencia ante las sollicitaciones horizontales. Así mismo, los muros cubiertos o encamisados aumentan sustancialmente su capacidad de tomar cortante y de presentar

deformación respecto a los muros sin la intervención, aumentando su capacidad de disipación de energía en el rango inelástico.

6. Conclusiones

Debido a la importancia que representa la construcción con muros de mampostería para el medio colombiano, es vital estudiar los diversos tipos de patología que se presentan en estos, teniendo presente los diferentes tipos de mampostería que existen, para adoptar medidas preventivas en cuanto a diseño y proceso constructivo, e intervenciones correctivas cuando estas se presenten por acción de algún tipo de fuerza o situación que la origine. Así mismo, aunque los orígenes de dichas patologías son variados, lo que incluye aspectos atmosféricos y de calidad en los materiales, así como los que provienen de la acción de fuerzas externas, como son la acción de sismos, vientos y asentamientos, y procesos constructivos que generan una distribución inadecuada de los esfuerzos.

Se concluye que las patologías causadas por sollicitaciones que exceden capacidad de resistir del elemento, sea este de naturaleza estructural o no estructural, son las más relevantes, toda vez que pueden desencadenar fallas catastróficas, especialmente cuando se presentan por fuera del plano del muro, es decir perpendiculares a este, dado es su lado más débil y su naturaleza es de falla frágil. Por lo anterior, es necesario tener especial atención en la modulación de las unidades y tratamiento de vanos y soportes, con el fin de evitar esfuerzos excesivos que lleven a fisuraciones excesivas, aplastamientos y desprendimientos del material.

Aparte de lo anterior, es importante agregar que las alternativas utilizadas para rehabilitación de los muros afectados por patologías dependen del nivel de severidad del daño y del nivel de vulnerabilidad que generen en la estructura, por lo que pueden usarse métodos superficiales o modificaciones de la naturaleza estructural del muro, donde se refuercen totalmente determinadas celdas con su respectivo anclaje a la estructura de concreto reforzado.

Referencias bibliográficas

- Alcocer, S, Ruiz, J, Pineda, A & Zepeda, J. (1996). “*Retrofitting of confined masonry walls with welded wire mesh*”. National Center for Disaster Prevention. México D.F.
- Arévalo, C. (2004). “*Comportamiento de muros en mampostería reforzada con carga paralela al plano*”. p.22–40. Disponible: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/10650/u258851.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS. “*Manual de casas de mampostería*”, Capítulo III Evaluación del nivel de daño en viviendas afectadas por sismos. (P.3-13) Disponible: https://www.preventionweb.net/files/7661_ManualdecasasdemamposteriaAISredpart2.pdf
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). “*Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*”. Título D. Mampostería Estructural. Bogotá, Colombia.
- Broto, C. (2005). “*Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*”. Barcelona, Cataluña. España. Disponible: https://higieneysseguridadlaboralcv.files.wordpress.com/2012/07/enciclopedia_broto_de_patologias_de_la_construccion.pdf
- Blog Concreto “*Fisuras por flexión en elementos no estructurales: Muros divisorios*”. Disponible: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/fisuras-flexion-elementos-no-estructurales>
- Cámara Industrial de Cerámica Roja. “*Patologías en mampostería de cerámica roja*”. Buenos Aires, Argentina. Disponible: <https://www.ceramicaraja.com.ar/pdf/ficha2-patologias.pdf>
- Caez, J. (2004). “*Caracterización y patología de la mampostería en la ciudad de Barranquilla*”. P 18-35. Disponible:

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/10167/u245496.pdf?sequence=1>

Fondo de prevención y atención de emergencias – FOPAE & Asociación colombiana de ingeniería sísmica - AIS (2011). “Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales”, Guía técnica para inspección de edificaciones después de un sismo. Tercera edición. Disponible: https://www.academia.edu/31146078/GU%C3%8DA_DE_PATOLOG%C3%8DAS_CONSTRUCTIVAS_ESTRUCTURALES_Y_NO_ESTRUCTURALES_Asociaci%C3%B3n_Colombiana_de_Ingenier%C3%ADa_S%C3%ADsmica_AIS

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC (2000). “*Norma Técnica Colombiana NTC 4205*”. Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida. Ladrillos y Bloques Cerámicos. Primera Actualización. Bogotá, Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC (1997). “*Norma Técnica Colombiana NTC 4026*”. Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades (Bloques y Ladrillos) de Concreto, para Mampostería Estructural. Bogotá, Colombia.

Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón (2010). “*Manual de técnicas de reparación y refuerzo para estructuras de hormigón armado y albañilerías*” Santiago de Chile. Disponible: <https://ich.cl/documentos-edificacion/manual-de-tecnicas-de-reparacion-y-refuerzo/>

Marín, I. (2017). “*Causas y soluciones de patología presente en cabaña Villa Luján, ubicada en la vereda de Yayatá (Silvania)*”. p.72, 73 y 75 Disponible: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15497/1/CAUSAS%20Y%20SOLUCIONES%20DE%20PATOLOGIA%20EN%20CABA%C3%91A%20VILLA%20LUJAN.pdf>

Meli, R, Brzev S, Astroza, M, Boen, T, Crisafulli, F, Dai, J, Farsi, M, Hart, T, Mebarki, A, Moghadam, A, Quiun, D, Tomazevic & M, Yamin, L. (2011). “*Seismic design guide for low-rise confined masonry buildings*”. Earthquake Engineering Research

Institute. Oakland, California. Disponible: <https://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/08/ConfinedMasonryDesignGuide82011.pdf>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, República del Perú (2014). “*Fichas para la reparación de viviendas de albañilería*”. P. 26- 32. Lima Perú.

Ortiz, J. (2022). “*Mampostería Estructural, Principios Fundamentales*”. Clasificación de Mampostería. Curso de Mampostería Estructural, Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Ortiz, J. (2022). “*Mampostería Estructural, Principios Fundamentales*”. Mortero. Curso de Mampostería Estructural, Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Sánchez, S, Mebarki, A. (2009). “*Metodo semi-empírico para estimar la resistencia lateral en muros de mampostería confinada*” Disponible: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2009000100005

Solerpalau.com Blog “*Patologías en edificaciones: cuáles son las más frecuentes y cómo se originan*” Disponible: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/patologias-edificaciones/#:~:text=Son%20lesiones%20producidas%20por%20alg%C3%BAn,%20fisuras%20desprendimientos%20y%20erosi%C3%B3n.>

Tique, J. (2004). “*Comportamiento sísmico de muros en mampostería con refuerzo exterior estudiados en modelos a escala en la mesa vibratoria*”. Disponible: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/10641/u258811.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Viviescas, J. (2010). “*Grietas en construcciones ocasionadas por problemas geotécnicos*”. Disponible: <https://core.ac.uk/download/pdf/47251294.pdf>