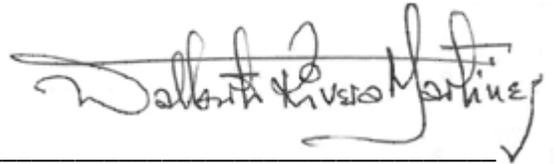


Técnicas de intervención para la conservación de las casas de tipología colonial del Centro Histórico de
Cartagena de Indias.

NOTA DE ACEPTACIÓN



**Firma del director
WALBERTO RIVERA MARTÍNEZ**



**Firma del jurado
ROCÍO PADILLA PRESTON**



**Firma del jurado
MANUEL SABA**



TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE CASAS DE TIPOLOGÍA COLONIAL DEL CENTRO HISTÓRICO DE CARTAGENA DE INDIAS

DESCRIPCIÓN BREVE

Evaluación patológica y de vulnerabilidad de las casas de tipología colonial del centro histórico de Cartagena de Indias, mediante la identificación de mecanismos de falla y tipos de lesiones presentes en ellas, con el fin de proponer técnicas de intervención que ayudarán a la conservación de las edificaciones.

Maria Camila Luna García, Adriana De la barrera Zarza



Técnicas de intervención para la conservación de las casas de tipología colonial del Centro
Histórico de Cartagena de Indias.



**TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE CASAS DE
TIPOLOGÍA COLONIAL DEL CENTRO HISTÓRICO DE CARTAGENA DE
INDIAS**

ADRIANA DE LA BARRERA ZARZA

MARÍA CAMILA LUNA GARCÍA

DIRECTOR:

PhD. WALBERTO RIVERA MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS

SEPTIEMBRE 2020



AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por ayudarme a culminar esta etapa de mi vida, a mi familia y amigos por todo el amor y el apoyo brindado, a mi amiga Adriana por haber sido mi compañera en este proceso, a la Universidad de Cartagena y profesores por los aprendizajes heredados a mi formación profesional. Todo mi cariño está con ustedes. Mil gracias.

María Camila Luna García

Agradecida infinitamente con DIOS por forjar este camino, mi familia, mi compañera de tesis y amiga, por sus estímulos y apoyo constante a lo largo de mi carrera, a los profesores por su disposición y desinteresado aprendizaje, y a todas las personas que de alguna forma aportaron a que esto fuese posible.

Adriana De la barrera Zarza



RESUMEN

Las casas coloniales en Cartagena de Indias como Bienes de Interés Cultural, merecen una atención específica y particular en la toma de acciones para su rehabilitación y conservación. El presente trabajo plantea técnicas de intervención específicas para las casas de tipología colonial, identificadas como “casa alta” y “casa baja”, a partir de analizar la tipología estructural de las viviendas como resultado de una revisión bibliográfica de antecedentes históricos-arquitectónicos de éstas y de estudios encontrados en la literatura sobre vulnerabilidad sísmica, mampostería colonial, estudios patológicos, lesiones estructurales, factores que inciden en los daños y criterios de intervención; todo esto con la finalidad de proteger y conservar el patrimonio histórico de la ciudad.

Se analizaron los tipos de lesiones estructurales, las causas que lo generan y se identificaron los mecanismos de falla recurrentes en las edificaciones y las patologías asociadas a ellos. Determinando que las casas altas son más vulnerables debido a que no presentan un diafragma rígido y las intervenciones necesarias para este tipo de afecciones se enfocan en el refuerzo con barras de acero para la creación de conexiones eficientes, el refuerzo del diafragma con fibras de vidrio y el anclaje de los muros de la estructura con la cubierta.

PALABRAS CLAVES: casas coloniales, conservación, mecanismos de falla, patologías, rehabilitación.



ABSTRACT

The colonial houses in Cartagena de Indias as Assets of Cultural Interest deserve specific and particular attention in taking actions for their rehabilitation and conservation. This work proposes specific intervention techniques for houses of colonial typology, identified as "high house" and "low house", based on analyzing the structural typology of the houses as a result of a bibliographic review of their historical-architectural background and from studies found in the literature on seismic vulnerability, colonial masonry, pathological studies, structural injuries, factors that affect damage and intervention criteria; all this in order to protect and preserve the historical heritage of the city.

The types of structural injuries and the causes that generate them were analyzed and the recurrent failure mechanisms in buildings and the pathologies associated with them were identified. Determining that tall houses are more vulnerable because they do not have a rigid diaphragm and the necessary interventions for these types of conditions focus on reinforcing with steel bars to create efficient connections, reinforcing the diaphragm with glass fibers and anchoring the walls of the structure with the roof.

KEY WORDS: colonial houses, conservation, failure mechanisms, pathologies, rehabilitation.



TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	9
2.	MARCO DE REFERENCIA	12
2.1.	ANTECEDENTES	12
2.2.	ESTADO DEL ARTE	15
2.3.	MARCO TEÓRICO	19
2.3.1.	Tipología de la casa colonial	19
2.3.2.	Vulnerabilidad sísmica de Cartagena de Indias.....	24
2.3.3.	Materiales para la intervención de edificios históricos.....	25
2.3.4.	Reconocimiento de problemas estructurales de las casas coloniales....	28
2.3.5.	Análisis de las lesiones y los mecanismos de falla.....	30
2.3.6.	Patologías asociadas a los mecanismos de falla	39
2.3.7.	Técnicas de intervención	42
3.	CONCLUSIONES	55
3.1.	Recomendaciones	56
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59



LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Tipología de la casa colonial	20
Tabla 2. Dependencias de las casas de tipología colonial.	21
Tabla 3. Tipología tecnológica y estructural en la arquitectura doméstica colonial.	22
Tabla 4. Lesiones estructurales en muros	40
Tabla 5. Plan y control de intervenciones a las casas coloniales	53



LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Lesiones físicas, mecánicas y químicas.	31
Figura 2. Volcamiento simple de pared	33
Figura 3. Volcamiento compuesto de pared	34
Figura 4. Volcamiento de flexión vertical	35
Figura 5. Volcamiento de flexión horizontal	36
Figura 6. Acción de la cubierta sobre el muro	37
Figura 7. Acción del arco sobre el muro.....	37
Figura 8. Volcamiento de esquina	38
Figura 9. Esquema de varillas centrales de acero insertadas en el centro de un muro	43
Figura 10. Representación de los elementos verticales sumando flexibilidad a la estructura restringiendo el desplazamiento de segmentos de un muro.....	44
Figura 11. Proyección de la posible creación de segmentos resultante de la predicción de patrones de agrietamiento	45
Figura 12. Dibujo de varillas centrales ancladas a elementos horizontales superiores de muro	45



Figura 13. Ilustración de mampostería reforzada con pañete estructural	46
Figura 14. Representación de una casa colonial intervenida con pañete estructural	46
Figura 15. Conexiones entre muros mediante tirantes de amarre.....	47
Figura 16. Ilustración del anclaje de muro al sistema de techo	48
Figura 17. Esquema de conexiones entre los muros y el entrepiso	49
Figura 18. Intervención en elementos inclinados.	50
Figura 19. Intervención de tirantas en cerchas.	51



1. INTRODUCCIÓN

“Los monumentos documentan toda la historia de la humanidad. Aquéllos deben ser preferentemente consolidados antes que reparados y reparados antes que restaurados evitando las renovaciones y adiciones. En caso de precisar de éstas, se realizarán sobre datos seguros, con caracteres y materiales distintos y distinguibles, llevando un signo de identificación o la fecha de restauración. Todos los añadidos de cualquier época deben respetarse y las adiciones modernas no deberán interferir la unidad de la imagen, respetándose la forma del edificio” Camilo Boito.

El patrimonio histórico se considera el escenario del pasado humano, una manifestación auténtica y tangible de la expresión cultural de una sociedad en un momento determinado, icono fundamental de su identidad; que a lo largo de los años ha presentado una evolución física y estructural sujeta al uso de la estructura, desgaste de los materiales o irregularidades constructivas. Es aquí, donde adquiere gran importancia y cobra sentido la realización de obras que garanticen su permanencia en el tiempo manteniendo la autenticidad que los caracteriza, sin dejar a un lado la utilización de técnicas contemporáneas e igualmente teniendo en cuenta el impacto histórico, económico, urbano y social que representa su cuidado y conservación.

En los edificios patrimoniales se realizan diferentes obras de intervención para mantenerlos en buen estado. Éstas pueden ser simples obras de limpieza, mantenimiento y conservación, o actuaciones más drásticas como rehabilitación, restauración, restitución y reconstrucción. Las intervenciones y actuaciones patrimoniales hay que considerarlas como obras de interpretación histórica, (Lleida Alberch, 2010)

A partir de mediados del siglo XIX inició la preocupación por la forma de intervenir el patrimonio y se empezó a tomar conciencia sobre los bienes patrimoniales como elementos a proteger para recuperar y mantener su legado. Los factores que influyeron en esto fueron, en primer lugar, la declinación física y estructural que habían sufrido a lo largo del tiempo y en segundo lugar, como resultado de los desastres naturales y las guerras que habían arrasado con una parte importante de estos monumentos, (Puertolas Coli, 2001). Por lo que los inicios



de las intervenciones patrimoniales se originan en Europa, especialmente en Francia y España.

Las primeras teorías de restauración arquitectónica pertenecen al francés Viollet-le-Duc, quien tuvo varios edificios medievales a su disposición y cuya característica principal era mantener el estilo de la obra, incluso cuando esto ameritara rehacer o añadir elementos para alcanzar la forma ideal. En contraposición con esta teoría, John Ruskin y Camilo Boito defensores absolutos de la conservación, mantenían la idea de que restaurar un monumento era destruirlo, crear falsas copias e imitaciones, por lo que apostaban a la conservación y reparación de las estructuras, (Albelo, 2017). Estas ideologías gobernaron la primera mitad del siglo XX siendo inspiración para la creación de algunos documentos como la Carta de Atenas en 1931, Carta de Venecia en 1964 y en 1957 la Carta de Ámsterdam, abriendo paso a la creación de legislaciones que guiaran la realización acertada de intervenciones en bienes patrimoniales con el objetivo principal de salvaguardar la historia y el legado que representaban.

En Colombia, el inicio de la intervención de edificaciones de valor patrimonial con intenciones “restauradoras” puede situarse hacia 1940 con algunos artistas plásticos como Luis Alberto Acuña, quien, con buenas intenciones, mucha imaginación y poca preparación, intervino edificios tan importantes como el Palacio de Nariño y la Casa de la Moneda de Bogotá y la hacienda el Salitre de Villa de Leyva, haciéndolos parecer más coloniales de lo que fueron originalmente, (Saldarriaga Roa, 2011). Hoy por hoy, restaurar el patrimonio en Colombia es una labor reconocida y desarrollada por personas capacitadas específicamente en esta área, sin embargo, esta conciencia patrimonial solo lleva medio siglo de existencia en el país, por lo cual es importante trabajar en mecanismos que permitan su consolidación y ejecución.

La herencia colonial fue la que generó mayor atracción por parte de autoridades y restauradores, por ello las primeras obras significativas se realizaron en ese campo y Cartagena fue uno de los lugares favorecidos con diferentes intervenciones en su arquitectura doméstica. (Saldarriaga Roa, 2011)



Técnicas de intervención para la conservación de las casas de tipología colonial del Centro Histórico de Cartagena de Indias.



Sin embargo, desde 1984 que la ciudad forma parte de la lista del patrimonio mundial, cultural y natural, se ha incrementado el estudio e interés por el cuidado de sus fuertes y monumentos que le confieren esta denominación ya que estos reflejan constructivamente la esencia de la época y se convierten en una fuente de atracción turística. Este estudio, considera el desarrollo y crecimiento del turismo en esta zona de influencia como una variable que interviene directamente en la funcionalidad de las estructuras por los cambios en el uso de éstas, ya sea relacionado con el sector hotelero, residencial y/o comercial.

En Cartagena de Indias se hallaron dos tipologías de vivienda colonial: la casa baja la cual pertenecía a personas de clase social baja o media y las casas altas o de dos niveles cuyos propietarios eran de mayor rango social, (Tellez & Moure, 1988)—. Sin embargo, estas últimas fueron más comunes para el siglo XVIII. Distribuidas en los 3 sectores que conforman el centro de la ciudad que son: el sector Centro Histórico, sector San Diego y sector Getsemaní.

Teniendo en cuenta la necesidad de trabajos de intervención en aras de conservar los elementos que componen el patrimonio histórico y cultural de la ciudad de Cartagena, esta monografía tiene como finalidad establecer técnicas de intervención a partir de la identificación y análisis de mecanismos de falla en las casas coloniales del Centro histórico en Cartagena de Indias, para la conservación del patrimonio histórico; a través de un estudio minucioso y detallado de bibliografía existente a nivel local, nacional e internacional.

Inicialmente se identificarán las casusas que generan fallas físicas, químicas y mecánicas en las casas coloniales y en conjunto con esto se identificarán los mecanismos de falla recurrentes en las estructuras después de movimientos sísmicos, para poder plantear un estudio patológico del estado de las casas de forma general, a través de la bibliografía recolectada. Finalmente se identificarán las técnicas de intervención aplicadas a bienes patrimoniales tanto a nivel nacional como internacional para determinar cuáles son los materiales compatibles con los utilizados originalmente y de esta forma establecer la intervención adecuada en la estructura. Los resultados de esta investigación servirán de guía para los procesos de reparación y reforzamiento de las casas de tipología colonial.



2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. ANTECEDENTES

En el año 2004, Xavier Casanovas Boixereu dirigió un proyecto denominado Método Rehabimed, el cual se trata de un proceso metodológico de intervención enfocado en salvaguardar el patrimonio arquitectónico tradicional. Los propósitos de Rehabimed eran la preservación y rehabilitación del patrimonio arquitectónico, así como realizar un aporte para mejorar las condiciones de vida de un sector importante de la población mediterránea mediante la conservación de la identidad histórica y cultural de su arquitectura. Este proceso permitió crear sinergias y redes de profesionales transnacionales en distintos ámbitos de rehabilitación y del mantenimiento de edificios, (PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 2008). Para el planteamiento de esta metodología se tuvo en cuenta el estudio de la historia, procesos constructivos, sistemas estructurales, reconocimiento de materiales y las distintas intervenciones que se realizaron previamente y el resultado final de esta evaluación fue la descripción de criterios de intervención definidos en un conjunto de herramientas estratégicas de aplicación para la arquitectura tradicional mediterránea.

Un segundo trabajo corresponde a un estudio de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada, (Yamín et al., 2007). El objetivo principal de este documento se basa en el conocimiento de esta tipología estructural mediante la identificación de los mecanismos de falla que se pueden generar en una estructura de adobe y tapia pisada, y teniendo claro cómo se presentan los daños se proponen soluciones técnicas a todos los elementos estructurales con diferentes materiales compatibles con los originales para abordar la problemática de la vulnerabilidad sísmica que presentan.

Acorde con el planteamiento anterior, Juan Carlos Rivera en el año 2012, realizó un estudio sobre el adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda. El cual usa un modelo metodológico cuyo fin es realizar un proceso de caracterización de las estructuras construidas en tierra para analizar su comportamiento estructural. A partir de este trabajo surgen inquietudes tales como cuál es el tratamiento de intervención permisible y



exigible para los Bienes de Interés Cultural (BIC) presentes en nuestro territorio, (Rivera Torres, 2012).

En el campo de la Restauración y Conservación del Patrimonio construido, conocer las diferentes técnicas de estudio de materiales va a permitir que estas se puedan aplicar y combinar de forma adecuada con el fin de conseguir información relevante en la toma de decisiones sobre la intervención a realizar, (Moreno-Fernández et al., 2017). Una investigación desarrollada por Aguirre, L y Arrieta, A; en el año 2014 hace referencia a un estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en la restauración de edificaciones de tipología colonial y republicano en la ciudad de Cartagena, cuyo objetivo principal era determinar si los materiales utilizados en la restauración de edificaciones patrimoniales son adecuados, mediante la comparación de materiales de distintas fuentes.

En el año 2016 fue presentado un trabajo por Fortich, C y López, L; para la Universidad de Cartagena. La investigación se basó en un estudio de la vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en casas coloniales en el barrio Getsemaní de la ciudad de Cartagena. Cuya finalidad era generar recomendaciones para contribuir al mejoramiento y conservación de estas viviendas a través de un diagnóstico detallado de su estado que resulta de un estudio patológico.

Las patologías identificadas en la mampostería son fundamentales al momento de realizar un estudio de vulnerabilidad, puesto que al ser reconocidas de manera precisa las afecciones que deterioran la estructura, se puede determinar el índice que define su estado de conservación, (Fortich & Lopez, 2016). Este estudio consideró una muestra de 5 casas coloniales de las cuales se evaluaron 11 parámetros relacionados con la resistencia de las estructuras, diafragmas horizontales, distancia entre muros, cubiertas, elementos no estructurales y su estado de conservación. Los resultados concluyeron que existe un índice de vulnerabilidad promedio de 43,6% lo que demuestra la susceptibilidad de las casas coloniales de Getsemaní ante cualquier situación que afecte alguno de los parámetros evaluados, por ejemplo: cambio de uso del lugar, aumento de cargas, modificaciones en la estructura original, eventos sísmicos o pocas medidas de intervención a lo largo de los años.



Ahora bien, al proponer técnicas de intervención es necesario considerar los mecanismos de falla de una estructura, que se pueden manifestar en las fachadas mediante la aparición de grietas o el deterioro evidente de los elementos estructurales, además un conjunto de lesiones generadas por el medio, puede conducir a un mecanismo de falla. Otra de las investigaciones encontradas durante el proceso de revisión consiste en la elaboración de un plan de intervención a la patología en fachadas de casas coloniales en el barrio San Diego mediante el uso de técnicas antiguas y modernas, propuesto por Echeverría, D y Malambo, J en el 2016.

Los resultados de este estudio demuestran que la humedad relativa de la Ciudad de Cartagena se encuentra en un promedio anual de 83% situación que favorece directamente la formación de lesiones químicas. Por su parte, las lesiones mecánicas se producen en la mayoría de los casos en las estructuras por compresión, esto debido a la pérdida de cohesión de los materiales que son menos resistentes logrando que la carga se concentre en ciertos puntos que no son homogéneos y que ya poseen daños internos, (Echeverría & Malambo, 2016).

Las soluciones planteadas para evitar que se sigan presentando este tipo de lesiones están contempladas en un plan piloto de intervención donde a través de técnicas antiguas y modernas proponen mantenimientos para las estructuras históricas. Es pertinente considerar estos resultados realizando un análisis completo de toda la vivienda a nivel estructural y esto permitirá determinar intervenciones precisas que no abarquen únicamente las fachadas.

En el año 2018, el ingeniero Walberto Rivera, realizó una investigación mixta en la ciudad de Cartagena donde estudia la vulnerabilidad de las casas coloniales. En primera instancia consta de una revisión histórica-arquitectónica del origen de las viviendas y los mecanismos de falla esperados, luego una inspección de campo basada en la toma de datos por medio de una ficha patológica y una última fase donde planteó un modelo matemático fundamentado en parámetros sísmicos y solicitaciones de carga esperadas, a través de teorías y análisis del diseño estructural. Los resultados de esta investigación permitieron determinar el sector del centro histórico más vulnerable y las estrategias de intervención ideales para corregir estas fallas, (Rivera, 2018).



Todas estas propuestas estudiadas y realizadas a nivel nacional e internacional están orientadas a aspectos puntuales del objetivo general de esta investigación, unas mediante la elaboración de procesos metodológicos que guían la realización de las intervenciones, así mismo hay otras que se enfocan en el análisis de los mecanismos de falla que originan los daños para posteriormente plantear alternativas de solución y finalmente, otras a través de la caracterización de los materiales para la realización de procesos de intervención. Sin embargo, todas tienen un punto en común y es la conservación y preservación del patrimonio como un elemento de identidad cultural dentro de una región, el cual requiere intervenciones óptimas y adecuadas que aseguren su permanencia en el tiempo. Lo cual reafirma la necesidad de establecer e implementar unas técnicas de intervención basadas en el estudio de los elementos estructurales de las viviendas coloniales, con el fin de proteger el patrimonio de la ciudad de Cartagena.

2.2. ESTADO DEL ARTE

Conocer el comportamiento estructural de las edificaciones de carácter patrimonial ayuda a crear una visión más lucida y comprensible de las mismas, para poder plantear métodos de intervención con la finalidad de minimizar el grado de riesgo al que se vean expuestas y, de esta forma, garantizar su permanencia en el tiempo manteniendo la denominación de patrimonio histórico. A continuación, se muestran estudios realizados a nivel nacional e internacional con temas relacionados a metodologías de intervención del patrimonio y factores que influyen en la implementación de éstas.

El inicio de la intervención de edificaciones de valor patrimonial con intenciones “restauradoras” puede situarse hacia 1940, con la Ley 5 donde se establecieron controles a las construcciones dentro del perímetro amurallado de Cartagena. Posteriormente, la Ley 107 de 1946, le da potestad a la Sociedad de Mejoras Públicas y a la Academia de Historia para velar por las obras de la ciudad haciendo énfasis en la apariencia colonial, (Saldarriaga Roa, 2011). Lo que quiere decir que, a través del tiempo el patrimonio ha adquirido mayor importancia y cada vez se van implementando mayores controles en cuanto a su preservación.



Para conservar las propiedades de una estructura de carácter patrimonial hay un amplio rango de posibilidades de intervención. Es importante tener claro todos los aspectos que pueden incidir directamente en el deterioro de la edificación para determinar adecuadamente los procesos de reparación y/o reforzamiento que se adaptan mejor a las necesidades de la estructura. Para ello, es conveniente crear una estrategia de trabajo que permita determinar el tipo de intervención que requiere un bien patrimonial.

En Málaga, se realizó un estudio donde se observa la creación de una metodología de trabajo que considera un enfoque cualitativo y cuantitativo para organizar el estado de conservación global de los edificios patrimoniales, mediante una evaluación que permite clasificar el nivel de riesgo que tiene la edificación de acuerdo a la severidad de los daños. Por tanto, construir un procedimiento o metodología se convierte en una herramienta muy útil ya que esto constituye un orden lógico y permite priorizar aquellas estructuras que se encuentren en condiciones críticas, (Ruiz-Jaramillo et al., 2019).

Para diseñar proyectos de restauración y preservación, es indispensable conocer de manera integral las edificaciones y el componente histórico alrededor de éstas, materiales y procesos constructivos, puesto que esta información será determinante y puede convertirse en el punto de partida para seleccionar el tipo de intervención más adecuado acorde a las características de la estructura. El alcance de esto se resalta en las conclusiones de un estudio realizado a una galería patrimonial en Punta Begoña, España, donde se señala que la caracterización adecuada de los materiales de construcción es uno de los pilares fundamentales para comprender las edificaciones patrimoniales, además de tener en cuenta los aspectos históricos/arqueológicos y el estado actual de la estructura respetando la conservación, (Damas Mollá et al., 2018). Considerando que el reconocimiento de técnicas y materiales tradicionales hacen parte de la esencia cultural única y específica de cada comunidad y merecen ser estudiadas y protegidas. (Peñaranda, 2011).

No obstante, si se procura alargar la permanencia de las casas históricas a través de diferentes técnicas de intervención, es oportuno interactuar con el uso de tecnología moderna, a través de la inclusión de técnicas y materiales contemporáneos con el propósito de



conseguir este objetivo respetando la idea original de la estructura para mantener la denominación de patrimonio. En especial cuando las soluciones tradicionales resultan poco eficaces ante los problemas o patologías que se puedan manifestar, como se puede evidenciar en una investigación realizada en Bolivia donde se establecen diferentes métodos destinados a la conservación, recuperación, mantenimiento, y restauración de monumentos y estructuras patrimoniales existentes en el Centro Histórico de la ciudad de Sucre, (Peñaranda, 2011).

Es importante caracterizar los tipos de lesiones que se pueden evidenciar para entender cómo se exteriorizan los mecanismos de falla del sistema estructural y establecer los que representen riesgo inminente de colapso de la estructura o cualquier tipo de peligro para los usuarios. Así señala un estudio de campo realizado en España a edificaciones coloniales para comprender su comportamiento, donde se concluye que las intervenciones deben estar encaminadas primeramente a garantizar la estabilidad del sistema estructural seguida de la intervención puntual de los puntos de concentración de esfuerzos de tensión que supongan la pérdida del equilibrio del sistema, (Chica & Fuertes, 2018). Otra de sus conclusiones se basa en el objeto de estudio de esta propuesta de investigación ya que afirman que, en el análisis de los índices de sobreesfuerzo en la edificación, es conveniente identificar los mecanismos de colapso del sistema y anteponer los que presenten mayor vulnerabilidad.

Implementar un plan de valorización y conservación del patrimonio permitirá evaluar el estado de la edificación y tomar medidas correctivas a tiempo, el proceso puede hacerse por fases secuenciales que inician con la toma de decisiones, continúan con un proceso ejecutivo y finalmente un proceso de gestión, convirtiendo esto en un modelo de fácil aplicación. (Settembre Blundo et al., 2018).

Hay factores externos a las edificaciones patrimoniales que influyen en su conservación, un claro ejemplo de esto es el turismo, puesto que para que un lugar sea considerado patrimonio mundial debe tener un valor universal excepcional y cumplir con alguno de los diez criterios establecidos por la UNESCO. Este título trae consigo muchos beneficios sociales, económicos y culturales; y se ha comprobado que las ciudades con lugares reconocidos patrimonio mundial atraen mayor turismo, (Su & Lin, 2014). Para efectos de este trabajo es útil demostrar que el patrimonio y el turismo están estrictamente



relacionados ya que, el patrimonio tiene un enfoque cultural muy importante e influye directamente en la construcción de identidad de un lugar, reflejan un testimonio y son expresiones tangibles de la identidad cultural. Los sitios seleccionados para representar el patrimonio del país tendrán fuertes implicaciones tanto para la identidad colectiva como la individual y para la creación de realidades sociales, (Black & Wall, 2001).

Ahora bien, para el caso de Cartagena de Indias se encontró un estudio en el cual se realizó una investigación cualitativa para determinar estrategias de conservación en un sector en específico del Centro histórico de la ciudad, involucrando los aspectos anotados anteriormente, dicha estrategia está orientada a satisfacer necesidades de funcionalidad y habitabilidad, teniendo en cuenta las acciones que pueden hacerse al momento de intervenir una edificación patrimonial. Sin embargo, no se tuvo en cuenta ningún lineamiento técnico a nivel estructural, por lo que esta información representa una base conceptual para el desarrollo de esta investigación ya que el objetivo está enfocado en la determinación de recomendaciones técnicas para la conservación de estructuras patrimoniales que pueda tener aplicabilidad en todo el Centro histórico de la ciudad, (Hincapié Fajardo, 2010).

En un estudio realizado a nivel local, se determinó que las casas en el Centro histórico tienen un índice de vulnerabilidad medio-alto, siendo mayor en las casas altas debido a que estas no presentan un diafragma rígido a nivel de entrepiso. Por lo tanto, es necesario realizar estrategias de conservación dando prioridad a las casas coloniales con dos o más niveles, (Rivera Martínez, 2019).

Dentro de las propuestas de estrategias metodológicas para la intervención del patrimonio en Cartagena de Indias, se diseñó un planteamiento metodológico de carácter pedagógico desarrollado en tres fases, donde inicialmente enfocaban su atención en la conceptualización del patrimonio urbano identificando los elementos característicos de éste y comprendiendo su historia. Posterior a esto, el reconocimiento y concepción del patrimonio, su evolución y el estado actual a través de la aplicación de los fundamentos teóricos iniciales. Finalmente, la propuesta de intervención que incluye el manejo de la ciudad patrimonial a través del diagnóstico del espacio urbano y los bienes patrimoniales, (Patiño Zuluaga, 2012). Las conclusiones del estudio corroboran la importancia de la



realización de esta investigación, ya que la implementación de una metodología pedagógica permite informarse, reconocer y valorar el patrimonio como elemento distintivo de la ciudad de Cartagena. De esta manera, desarrollar herramientas conceptuales y aplicaciones de técnicas que aporten soluciones a la preservación del patrimonio.

La investigación que se propone, tomará como base estos estudios previos en los que se evidencia la necesidad de tomar medidas para el cuidado de los bienes patrimoniales, enfocando nuestra atención en las casas coloniales, mediante recomendaciones técnicas de intervención que surgen del análisis de los mecanismos de falla encontrados en ellas, teniendo en cuenta que estas construcciones fueron realizadas en una época en la que no se tenía ninguna normativa que controlara su ejecución y que además, preservarlas representan un beneficio social y económico para la ciudad.

2.3.MARCO TEÓRICO

2.3.1. Tipología de la casa colonial

Tipología arquitectónica de las edificaciones del período colonial en Cartagena

Las edificaciones coloniales domésticas del período colonial en Cartagena, propuesta por el historiador español Enrique Marco Dorta establece dos categorías, (Tellez & Moure, 1988):

- a) Casas “altas”, es decir, de dos o tres plantas.
- b) Casas “bajas”, de una planta.

Esta clasificación, es también la que corresponde a la organización de clases sociales imperante en el período colonial en la ciudad: Una clase social alta, constituidas por comerciantes adinerados y burócratas importantes probablemente ocupó las casas que llegaron a un mayor desarrollo volumétrico. La burguesía menor de la ciudad podía alojarse sin mayor dificultad en la casa “baja”, correspondiendo ésta más fielmente a las fórmulas de vivienda popular, de poblado pequeño, predominante entonces en el Sur de España. Las características principales de las casas se encuentran descritas en la Tabla 1 y las dependencias de éstas se encuentran definidas en la Tabla 2.



Tabla 1. Tipología de la casa colonial

CATEGORÍAS	CARACTERÍSTICAS
CASA ALTA	La disposición de este tipo de casa se organiza en tres niveles (cuando existe el entresuelo) de acuerdo con las funciones y actividades correspondientes. Estas pueden ser de dos o tres pisos.
	Piso bajo: La secuencia de dependencia de uso doméstico se organiza así: Zaguán de entrada, vestíbulo ambiente abierto al patio interior principal, al cual llega a la escalera. Si la casa posee un segundo cuerpo de construcción, éste genera un segundo patio al fondo del lote, y ocupa el nivel bajo de construcción con dependencias de servicio.
	Entresuelo: Este puede ser una dependencia de los locales comerciales en planta baja, o constituir parte de la casa en sí, alojando a la servidumbre o funcionando como depósito. Invariablemente presentará una altura inferior a $\frac{2}{3}$ partes de la del piso bajo.
	Piso alto: Este agrupa las dependencias “familiares” de la casa, con una serie de ambientes elásticamente disponibles como salones o habitaciones, cuyas subdivisiones con frecuencia no llegaban hasta la altura de la cubierta misma.
CASA BAJA	O de un piso, es de menor área construida y situada en el tipo de lote más estrecho, su esquema se basa en una distribución en “L”, teniendo hacia la calle un zaguán de acceso y uno o más salones.
	Hacia el patio tendría un vestíbulo o corredor amplio, con o sin arcadas.
	Las habitaciones estarían situadas en la rama de la “L” perpendicular a la calle, localizándose al fondo del lote.
	La cocina ocupa el recinto situado más al fondo de la casa, o un rincón del patio, usualmente.

Fuente: *Arquitectura doméstica de Cartagena (Tellez & Moure, 1988). Adaptado por autores.*



Tabla 2. Dependencias de las casas de tipología colonial.

DEPENDENCIAS CASA ALTA
Zaguán
Locales hacia la calle
Puente sobre el zaguán
Vestíbulo en piso bajo
Escalera
Patio principal
Habitaciones piso bajo
Patio trasero
Vestíbulo piso alto
Entrepiso (Depósitos o habitaciones de servidumbre)
Balconadas a patios en entrepiso y piso alto
Habitaciones en piso alto
Salón principal
DEPENDENCIAS CASA BAJA
Zaguán
Vestíbulo
Patio
Habitaciones
Salón principal

Fuente: (Tellez & Moure, 1988). Adaptado por autores.

Tipología tecnológica y estructural en la arquitectura doméstica colonial en Cartagena

Según los historiadores de época, particularmente Fray Pedro Simón, en 1625, y Jorge Juan y Antonio de Ullos en 1735, la construcción doméstica cartagenera se adaptó rápidamente a las condiciones del lugar y el medio climatológico, (Tellez & Moure, 1988). En concordancia con los autores del repertorio arquitectura doméstica de Cartagena, las tecnologías más comunes que se implementaron son las que se muestran a continuación, ver Tabla 3.



Tabla 3. Tipología tecnológica y estructural en la arquitectura doméstica colonial

TIPOLOGÍA TECNOLÓGICA Y ESTRUCTURAL EN LA ARQUITECTURA DOMÉSTICA COLONIAL	
CATEGORÍAS	CARACTERÍSTICAS
MUROS Y ACABADOS	La edificación empleó muros en piedra y argamasa de cal, ante la dificultad para fabricar ladrillo de buena calidad. El ladrillo se utilizaría también, pero en menor proporción.
	Abundan en las casas importantes de la ciudad los muros en retal de ladrillo, piedra, y coral desmenuzado formando con la argamasa de cal y arena una especie de hormigón. Estos muros se conocen como muros de cascoteo o Tipo I. Los muros conformados por piedra coralina y argamasa de cal son denominados muro Tipo II.
	El ladrillo empleado en la construcción de la época colonial en Cartagena de Indias no difiere en principio de los dos tipos más comúnmente utilizados en el resto del territorio de la Nueva Granada, estos son: Ladrillo conocido hoy como tolete y el ladrillo llamado hoy tablón o tableta. Los muros en ladrillo o tabletas militares de 15cm x 30cm x 4cm y argamasa son considerados del Tipo III, y los muros Tipo 4 son aquellos en piedra coralina, tableta militar y argamasa.
	En poco tiempo, se hicieron notar los efectos que producía el clima (la humedad, y los vientos salinos en particular) sobre la mampostería, por lo cual se aplicaron pañete o revoques con alta resistencia a la corrosión, que hoy en día se mantiene en algunas viviendas coloniales.
	Hay indicios del empleo de la técnica de plancha caliente sobre las superficies de los revoques para obtener un acabado muy pulido, de una cristalización más resistente a la corrosión por agua de lluvia y por fluorescencia química.
	Cubierta plana en “azotea” o “terraza”. Este sistema se utilizó para unas pocas construcciones principales (Casas de la Inquisición, por ejemplo), así como para cubrir pequeñas áreas en otras casas de gran tamaño, y en unas pocas de tipo de “casa baja”.



CUBIERTAS	<p>Cubierta de tipo de “par e hilera”, atirantada. El principio fundamental de los dos sistemas de armadura de cubiertas más frecuentemente utilizados en la construcción doméstica cartagenera es el de una estructura autosuficiente, que sólo depende de sus apoyos para transmitir peso, más no esfuerzos flectores o cortantes.</p>
	<p>Cubierta de tipo de “par y nudillo”, atirantada. Estructuralmente, el empleo del nudillo, es decir, de un travesaño horizontal entre los pares, próximo a la cumbrera, es un refinamiento importante, destinado a crear una figura geométrica indeformable en el vértice del triángulo de la armadura, y obtener así rigidez adicional en ese punto, especialmente en el caso de cubiertas de luz larga y abundante peso muerto.</p>
PISOS	<p>Nivel de la calle o piso bajo. El uso del ladrillo fue más frecuente, aunque en las casas grandes aún subsiste la piedra en las áreas de zaguán y el vestíbulo adyacente al patio.</p>
	<p>Niveles de entresuelo y piso alto. La fórmula más usual fue la de colocar vigas portantes con intervalos entre ejes que varían entre apenas 2 veces la anchura de éstas, hasta aproximadamente 4 ¼ veces la anchura de las vigas. Sobres estas vigas, y dependiendo de las distancias entre las mismas, se dispusieron dos sistemas de pisos:</p>
	<p>1. Ladrillos colocados directamente sobre las vigas, con su cara inferior a la vista. Sobre éstos, una capa de argamasa de 3 a 6 cm, y sobre ésta otros ladrillos del mismo tipo (planos o “tablones”) para formar el acabado del piso.</p> <p>2. Se usó también una alternativa a lo anterior, en el sentido de colocar tablones de madera directamente sobre las vigas portantes, más o menos pulidos por su cara superior para formar por sí mismos el acabado del piso.</p>
METALES Y MADERA	<p>El metal no cuenta, ni como factor tecnológico ni como elemento estético en la época colonial en la ciudad. En efecto se suman en la región factores meteorológicos y climatéricos para producir un intenso ataque físico-químico a los metales blandos.</p>
	<p>Sobrevino entonces la sustitución general del metal por las maderas de la región (cedrillos, caobas, guayacanes, carretos, etc.) para balaustradas y rejas, y con ello aparece un original e insólito repertorio formal de los elementos hechos con madera, entre los que se destacan principalmente los balcones y escaleras.</p>

Fuente: Arquitectura doméstica de Cartagena (Tellez & Moure, 1988). Adaptado por autores.



2.3.2. Vulnerabilidad sísmica de Cartagena de Indias

Ante la ocurrencia de eventos sísmicos fuertes se ha comprobado que, en la mayoría de los casos, las estructuras en mampostería no reforzada son las más perjudicadas, e incluso han causado pérdidas de vidas humanas considerables en comparación con otros sistemas estructurales, (Oriente et al., 1998) . Los mecanismos de falla recurrentes en el colapso de este tipo de estructura, están asociados principalmente a la carencia de conexiones efectivas entre la parte superior de la mampostería, diafragmas flexibles y materiales de mala calidad.

En el caso de las casas coloniales, a lo anterior se suman esfuerzos verticales y laterales producidos por nuevas sollicitaciones de carga que superan la resistencia del sistema original, entre las posibles causas se destacan los cambios de uso de la edificación y la degradación de los materiales empleados para su construcción durante la época colonial, es decir, la madera, la piedra, la argamasa y el ladrillo. Dicha degradación está directamente relacionada con la exposición a la intemperie y características propias del medio ambiente, como lo son la humedad, las precipitaciones, los cambios de temperatura, y a otros factores tales como la contaminación y la falta de obras de mantenimiento que apresuran los efectos de los procesos naturales.

Por otro lado, ante sismos de menor intensidad, las estructuras se han visto ligeramente afectadas, lo cual podría indicar que, para zonas con amenaza sísmica baja como lo es la ciudad de Cartagena, utilizando técnicas adecuadas de reforzamiento, puede garantizarse un buen desempeño de estas estructuras ante un movimiento telúrico.

Ahora bien, cabe resaltar que, las viviendas fueron construidas en una época donde particularmente no se hablaba de construir estructuras resistentes a eventos sísmicos. De la época colonial no existe ningún tipo de documentación técnica con pautas explícitas para la construcción de edificaciones resistentes a sismos, aunque, después del sismo de 1785 en Santa Fe algunos territorios entendieron que ciertos tipos de construcción y algunos materiales en específico no se comportan de forma adecuada ante terremotos, (Niglio & Valencia Mina, 2013).



Sin embargo, en Colombia no existió una normativa o reglamento con lineamientos técnicos para el diseño antisísmico de estructuras hasta después del devastador terremoto de Popayán en el año 1983. La primera norma de sismo resistencia en el país fue otorgada por medio del Decreto 1400 de 1984 y amparado por la Ley 11 de 1983. El código vigente en la actualidad es la NSR-10, aunque éste ha tenido una serie de preceptos constantemente renovados, el más reciente corresponde al año 2012, (García, 2015). El objetivo de la normativa es conformar una guía de diseño que fortalece la respuesta estructural de las edificaciones en Colombia ante un evento sísmico.

Existen fallas típicas que han sido recurrentes en estructuras de mampostería no reforzada y éstas se producen fuera del plano del muro ante la ocurrencia de un sismo; las fallas tienen lugar en edificaciones donde no existe una conexión adecuada entre las paredes ortogonales. En el caso de las casas coloniales se manifiestan de forma diferente de acuerdo a la tipología de la vivienda. Atendiendo al objetivo de este trabajo, se muestra que son los mecanismos de falla, cómo se manifiestan y se proponen intervenciones que solucionen todos los posibles daños que podrían generarse.

2.3.3. Materiales para la intervención de edificios históricos

Dentro de los criterios de intervención, la elección de materiales es uno de los aspectos más importantes ya que de esto va a depender la adecuada reparación de la estructura. Se deben determinar todas las particularidades que poseen los materiales, sobre todo cuando estos son nuevos y se vayan a utilizar en una obra de reparación, así como su compatibilidad con los originales. Es importante incluir el impacto que generan a largo plazo dentro de este estudio, para evitar efectos secundarios no deseables, (International Council on Monuments and Sites, 2003).

Por otro lado, es fundamental conocer los materiales y procesos constructivos con que se ha constituido inicialmente la edificación que se intervendrá, ya que esto facilita la comprensión de los mecanismos de falla, permite valorar el nivel de complejidad de la problemática que se desea resolver, y de la misma forma seleccionar las soluciones más



optima pata situación, sin dejar a un lado la compatibilidad entre los materiales tradicionales y modernos.

Los materiales “tradicionales” conciernen a los mismos materiales que se han utilizado en la construcción de los primeros edificios arquitectónicos (estos son la piedra, el ladrillo, el adobe, mortero de cal-arena, etc.). Entre los beneficios que ofrecen los materiales tradicionales, sobresale su compatibilidad con los empleados en la construcción del edificio a intervenir, principalmente por su permanencia y resistencia. Asimismo, como se busca que haya homogeneidad entre los materiales para el buen comportamiento de la estructura, se cuida que éstos posean características y cualidades semejantes como texturas, potencial de carga, coeficientes de dilatación térmica y composición química similares.

Sin embargo, en algunas ocasiones por la dimensión del daño a reparar, las propiedades de estos materiales son limitados, por lo cual resulta necesario incorporar nuevas tecnologías y materiales modernos que posibiliten la conservación del bien patrimonial, pero es importante que estos últimos cumplan con el criterio de compatibilidad.

Con el paso de los años se han logrado examinar y valorar las virtudes e inconvenientes de los materiales “modernos”. En algunos procedimientos de intervención éstos han alcanzado un buen desempeño; pero no siempre se ha tenido éxito, al contrario, estos materiales han provocado graves variaciones al patrimonio arquitectónico. Dichas variaciones se evidencian con los daños ocasionados a la estructura, algunos de ellos se manifiestan en forma inminente y otros a través del tiempo. Esto ocurre por haberse utilizado materiales modernos sin contemplar la compatibilidad y la constitución de los materiales y sistemas constructivos del edificio histórico, (Terán Bonilla, 2004).

Como muestra de ello, hay un procedimiento de reparación que consiste en la inyección de grietas con concreto en muros de ladrillo o adobe, sin embargo, debido a que el hormigón es un material de mayor dureza que el de los edificios intervenidos, éste llega a comportarse como un ariete durante un sismo causando la aparición de más grietas o incluso el colapso de algunos elementos constructivos históricos.



El acero y las resinas son considerados también materiales modernos. Las desventajas del acero es que puede presentar corrosión, y como consecuencia ésta puede conducir a la disminución de su capacidad de refuerzo. Así mismo, hay que advertir que, cuando un elemento de acero se consume, la corrosión se expande fácilmente generando un agrietamiento austero e incluso la destrucción del material histórico. Por tanto, para emplear el acero como material de refuerzo este debe ser inoxidable, (Peña Mondragón & Lourenço, 2012).

Por su parte, luego de examinar las resinas epóxicas, se comprobó que éstas también han provocado problemas de compatibilidad cuando son utilizadas en inyecciones para la reparación de muros. La razón se debe a que éstas disminuyen considerablemente la permeabilidad y transpiración natural de los materiales originales, por lo cual se presentan cambios de coloración, tornándose un color amarillento con el tiempo, (Peña Mondragón & Lourenço, 2012).

Con respecto al uso del cemento en la preparación de morteros y concreto, se sugiere que éste sea de origen puzolánico, teniendo en cuenta que ha presentado una mejor compatibilidad que el cemento portland. Sin embargo, los expertos en el cuidado y conservación del patrimonio histórico desaconsejan el empleo de elementos de concreto, debido a que éstos usualmente se disponen con el fin de cambiar el concepto original del sistema estructural para convertirse en una estructura moderna. Lo cual no se acoge a los lineamientos internacionales de conservación, ni se respetan los valores intrínsecos de la estructura, en especial el de ingeniería. (Peña Mondragón & Lourenço, 2012).

En la actualidad se cuenta con otros materiales modernos, estos son los Polímeros de Fibras Reforzadas (FRP). Consisten en materiales plásticos compuestos por ortótropos de tensión plana que contienen nervios en su interior, los cuales son mercantilizados en forma de láminas o telas para aumentar la resistencia de ciertos elementos físicos, (Acuña Caro, 2018).



El papel de la matriz en un material compuesto reforzado con fibras, tiene como objetivo transferir la tensión entre las fibras, proporcionar una barrera contra un entorno adverso y proteger la superficie de las fibras de la abrasión mecánica, (Taj et al., 2007)

Generalmente, están hechos de fibra de carbono, vidrio o aramida y actualmente se han desarrollado las fibras de Basalto. Los FRP se presentan como aplicaciones eficientes, altamente versátiles y económicamente viables, (Borri et al., 2010). Varias investigaciones han mostrado la eficacia de estos sistemas, y se puede evidenciar en el estudio elaborado por Acuña, el cual consistió en analizar el comportamiento de la mampostería tipo colonial, reforzada con fibras de carbono y basalto, bajo la acción de esfuerzos de compresión.

El aumento de la resistencia mediante la implementación de refuerzo con FRP, en comparación con los muretes ensayados en su estado natural mediante ensayos destructivos, arrojó porcentajes 25.95% para fibras de carbono y 30.25% para fibras de basalto, (Acuña Caro, 2018). No obstante, su aplicación tiene algunos inconvenientes, uno de ellos es que a largo plazo se desconoce el comportamiento de estos materiales debido a que su utilización es relativamente reciente. Por tanto, se aconseja mesura al utilizar los FRP, principalmente, en edificios históricos por su alto valor.

2.3.4. Reconocimiento de problemas estructurales de las casas coloniales

Casa Alta

Los mecanismos de falla son procesos que provocan cambios a través del tiempo, los cuales pueden ser graduales o acumulativos, y afectan las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, e incluso el colapso de una estructura durante o después de un sismo, (Beolchini, 2007).

Existen varias condiciones por las cuales un mecanismo de falla puede manifestarse en la tipología de casa alta. Estos escenarios tienen que ver con la organización del sistema estructural, la calidad del mismo, la resistencia de los elementos y las características del diafragma horizontal de la vivienda. Las condiciones que se describen a continuación



resultaron de examinar estudios previos a las casas coloniales que evidencian el estado de las estructuras.

- Conexión ineficaz entre el diafragma y las paredes ortogonales.
- Mampostería en piedra mal trabada o ladrillo de baja calidad, con la inclusión de cascajos, piezas no homogéneas o desprovistas de adherencia.
- La casa no presenta vigas de amarre en todas las plantas, pero está constituida por paredes ortogonales bien unidas.
- La casa tiene paredes ortogonales no ligadas entre sí.
- Cubierta inestable con viga de cumbrera.
- Cubierta inestable sin viga de cumbrera.

Es posible que en una sola vivienda se presente una o más condiciones, lo cual conlleva a la aparición de más de un mecanismo de falla. Por tanto, se deben plantear soluciones de manera integral atendiendo a todos los factores que vulneran la seguridad de la estructura.

Por otro lado, un estudio sobre vulnerabilidad sísmica a las casas coloniales en Cartagena elaborado por el ingeniero Rivera concluyó que, las casas altas no presentan un diafragma riguroso a nivel de entrepiso, y que además las vigas fuertes que forman el entrepiso se conectan a la pared a través de agujeros que crean un plano de falla o discontinuidad entre las paredes del primer y segundo piso. (Rivera Martínez, 2019).

Casa Baja

La tipología de casa baja al poseer una sola planta es estructuralmente menos compleja que la casa alta, principalmente porque carece de diafragma horizontal y es la de menor área construida. Sin embargo, merece igual atención al tratarse de un sistema estructural de mampostería no reforzada. Las condiciones que se pueden encontrar en esta tipología son:

- La casa no presenta vigas de amarre, pero está constituida por paredes ortogonales bien unidas.



- Mampostería en piedra mal trabada o ladrillo de baja calidad, con la inclusión de cascajos, piezas no homogéneas o desprovistas de adherencia.
- Paredes ortogonales no ligadas entre sí.
- Cubierta inestable con viga de cumbrera.
- Cubierta inestable sin viga de cumbrera.

Así como en la casa alta, es posible que en una sola vivienda se presente una o más condiciones, lo cual conlleva a la aparición de más de un mecanismo de falla.

A partir de analizar exhaustivamente las condiciones que prevalecen en ambas tipologías de casa, se elaboró un diagnóstico que contempla los siguientes mecanismos de falla:

2.3.5. Análisis de las lesiones y los mecanismos de falla

Lesiones

Al tratarse de estructuras de carácter patrimonial, las fachadas juegan un papel fundamental y se debe conservar su aspecto original, cuidando los colores y las modificaciones, sin embargo, estas viviendas se ven afectadas por su exposición directa con el sol, la humedad y la presencia de salinidad característica del centro histórico de la ciudad de Cartagena. Las manifestaciones de estos problemas se presentan como lesiones, ahora bien, existen lesiones que son producto de solicitaciones de carga mayores o de fallas en el sistema constructivo original.



Figura 1. Lesiones físicas, mecánicas y químicas.



LESIONES FÍSICAS

- Humedad
- Erosión
- Suciedad



LESIONES MECÁNICAS

- Deformaciones
- Grietas, fisuras
- Desprendimiento
- Erosiones mecánicas



LESIONES QUÍMICAS

- Eflorescencias
- Organismos

Fuente: (Broto, 2006) Adaptado por autores.

Las lesiones físicas se producen a causa de fenómenos físicos como heladas, condensaciones o golpes de calor. Por su parte en las lesiones mecánicas prepondera un componente de origen mecánico que originan el desgaste, grietas o separaciones en materiales o elementos estructurales; y por último, las lesiones químicas, las cuales surgen por la presencia de sales, ácidos o álcalis que reaccionan provocando descomposiciones que afectan la integridad del material, (Broto, 2006).

En Cartagena, la humedad relativa promedio mensual varía entre 78% y 82%, (EPA Cartagena, n.d.) lo cual facilita la formación de lesiones físicas e induce a la creación de eflorescencias u otro tipo de lesiones químicas. El medio ambiente marino es un factor determinante en la ocurrencia de este tipo de lesiones, debido a que las sales se cristalizan aumentando su tamaño y provocan una tensión en muros o elementos estructurales que degrada los materiales y puede tener consecuencias destructivas a lo largo de los años.



Es preciso hacer mención al turismo como una causa de las lesiones mecánicas que se pueden presentar en las viviendas de tipología colonial, debido a que estas estructuras no fueron diseñadas con estos fines y el cambio de uso conlleva a la realización de modificaciones con fines estéticos o el aumento de las cargas que soportaba originalmente, lo cual se traduce en grietas y deformaciones de la estructura.

Volcamiento simple

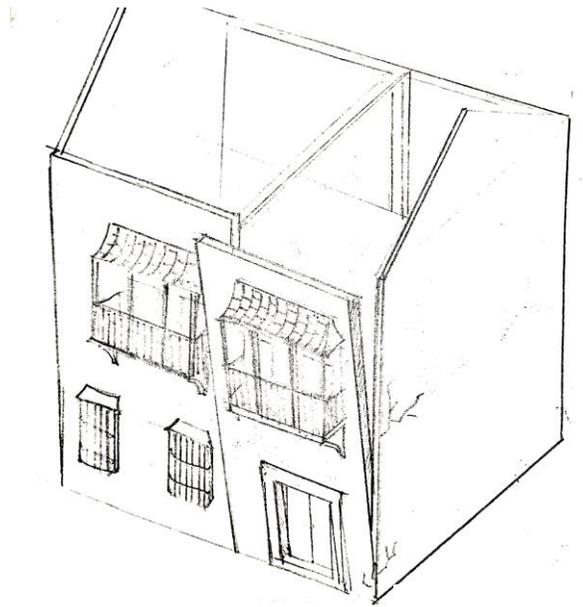
El volcamiento simple de pared ocurre por la ausencia de conexiones en el martillo de la mampostería y de dispositivos de conexión, como bordillos o cadenas, en la cabeza del borde de vuelco, (Beolchini, 2007). Posterior a un sismo, esta clase de mecanismo se puede identificar fácilmente por las lesiones verticales presentes en la intersección entre la cubierta y las paredes que son ortogonales.

En las casas altas, este modo de fallo es favorecido por la flexibilidad del diafragma y la ineficaz conexión de las paredes con éste, la presencia de balcones y de algunos elementos pequeños tales como cornisas, que no están muy bien ligadas a la pared. Por su parte, en las casas bajas influirá el empuje de la cubierta y las uniones de ésta con los muros; también, puede relacionarse con distintas geometrías de la pared en cuestión, mediante un modelo de grietas detectadas o la presencia de secciones de muro con aberturas (puertas y ventanas) que favorecen a la ocurrencia del volcamiento, como se puede observar en la figura 2.

Por otro lado, cuando la estructura no es rígida, ésta no puede resistir esfuerzos laterales los cuales al no contenerse también pueden ocasionar un volcamiento. Las cargas laterales hacen que el muro experimente esfuerzos cortantes, esto por la tensión diagonal que se genera en los elementos internos del muro, es decir, las juntas y las piezas. Razón por la que, en este tipo de mampostería, la resistencia al cortante del muro se define por la adherencia entre el mortero (argamasa) y las piezas, estas últimas varían de acuerdo al tipo de muro.



Figura 2. Volcamiento simple de pared



Fuente: Autores

Generalmente, el fallo por cortante se manifiesta a través de grietas diagonales y longitudinales. En muros no reforzados, la primera grieta aparece cuando se alcanza más del 50% de la carga máxima y posteriormente, aparece una segunda grieta cuando se alcanza la carga máxima horizontal, (Oriente et al., 1998).

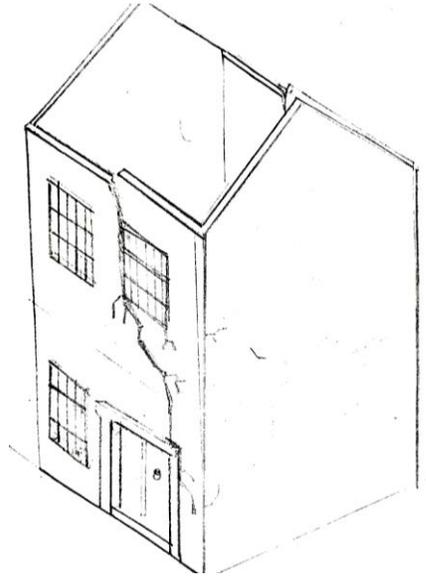
Volcamiento compuesto de pared

Para que se pueda construir un mecanismo de volcamiento compuesto en un edificio intacto, debe haber condiciones caracterizadas por la ausencia de restricciones en la parte superior del muro y de una conexión efectiva entre un muro y el ortogonal al mismo, (Beolchini, 2007).

Después de la acción de un sismo, este tipo de volcamiento se puede detectar por la presencia de grietas diagonales o de doble diagonal en los muros de enchufe que tengan otro ángulo de desprendimiento, y está en función del tipo y la calidad de la mampostería del edificio, tal como se distingue en la figura 3.



Figura 3. Volcamiento compuesto de pared



Fuente: Autores

El mecanismo de volcamiento de la fachada usualmente va acompañado por el desplome de una cuña diagonal del muro perpendicular y el arrastre parcial de una estructura de pared que pertenece a un ángulo libre.

Entiéndase que el origen del volcamiento compuesto de pared está directamente relacionado con el estado que tenga la estructura al momento del sismo. Es por ello que, luego de reconocer los problemas estructurales de las viviendas como se observa en el capítulo anterior, se induce que las estructuras no van a responder favorablemente frente a un sismo y que la ocurrencia de este mecanismo de falla o de cualquier otro es inminente.

Así mismo, el volcamiento compuesto, que representa una variedad del volcamiento simple, está considerablemente afectado por las características de la mampostería y por las secciones de muros de arriostramiento que tengan aberturas, de las que influye principalmente sus dimensiones. Si bien, las casas coloniales se caracterizan por sus amplias puertas y ventanas, condición que aumenta la vulnerabilidad de la estructura.

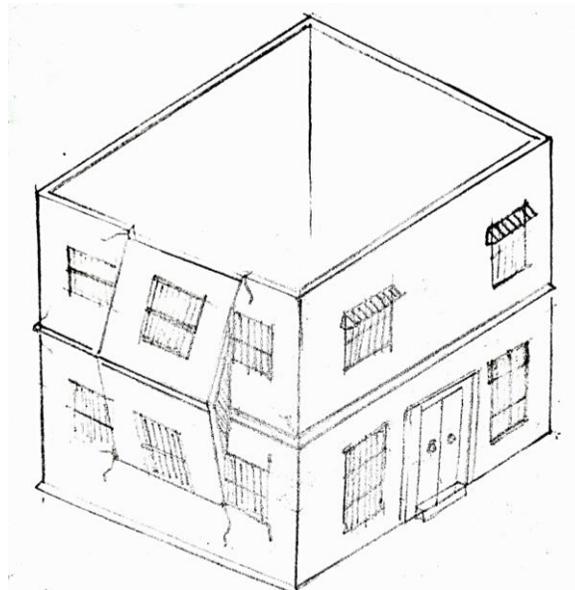


Flexión vertical y horizontal de pared

El mecanismo de flexión vertical se produce cuando el muro tiene que absorber fuerzas de tracción y corte originadas por cargas puntuales o por cargas provenientes de la cubierta y forjados. Esto es ocasionado por la ausencia de conexiones efectivas horizontales entre muros o por conexiones insuficientes para contrarrestar el efecto inestable del momento flector, (Beolchini, 2007). De igual forma puede generarse a causa de asentamientos diferenciales en la cimentación.

La combinación de estos esfuerzos más las cargas horizontales de viento y sismo facilitan la existencia del mecanismo en una estructura. Su manifestación se hace evidente mediante un pandeo vertical del muro, es decir, un efecto de arco vertical y la aparición de grietas, (ver figura 4).

Figura 4. Volcamiento de flexión vertical



Fuente: Autores

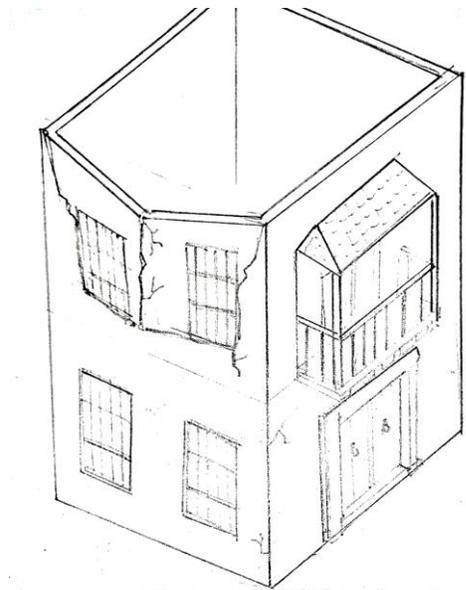
Por su parte, la flexión horizontal del muro se genera por el empuje en la parte superior de la pared, debido a esfuerzos laterales ocasionados por la cubierta, una baja resistencia a tracción de la mampostería y áreas donde la pared está sujeta a fuertes tensiones



de compresión producto de las cargas externas que soporta, (Beolchini, 2007). Lo cual conlleva a la expulsión del material que constituye la cara externa de la pared.

En este mecanismo hay mayor influencia de la acción del viento, provocando presión y succión sobre el muro, sin dejar a un lado las fuerzas horizontales que pueden generarse debido a eventos sísmicos. El conjunto de estas cargas se devuelve a los extremos de la pared a través de una ruta de tensión que describe la formación de un arco de descarga horizontal en la misma, como se puede observar en la figura 5.

Figura 5. Volcamiento de flexión horizontal

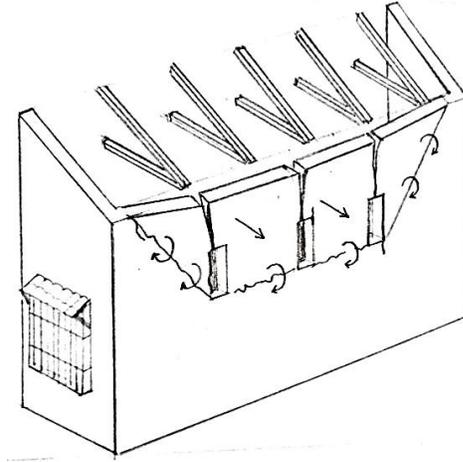


Fuente: Autores

En ambas tipologías hay que tener en cuenta la influencia de la cubierta, que al tener una inclinación que varía entre los 35° y 45° produce una componente horizontal de gran magnitud que se descarga en los muros laterales con tendencia a la flexión y al volcamiento, (ver figura 6). De igual forma ocurre con las bóvedas y arcos, (ver figura 7), sin embargo, al trabajar con muros muy gruesos, sus esfuerzos se transmiten a lo largo del muro, pero no de forma totalmente vertical, lo ideal sería transmitir los empujes a la cimentación, para evitar flexiones en la pared.



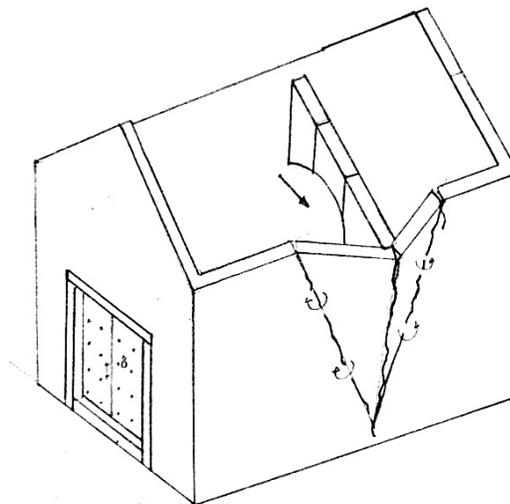
Figura 6. Acción de la cubierta sobre el muro



Fuente: Autores.

En las casas altas, en las plantas superiores se interrumpe la continuidad del muro, circunstancia que hace que los esfuerzos de flexión sean mayores, (Del rio, 2008). No sólo los correspondientes a flexión vertical, sino también los correspondientes a flexión horizontal. Además, la acción del viento es mayor en plantas altas, por lo cual es necesario contrarrestar la tracción debido a acciones horizontales y la compresión por el peso que soporta, reduciendo a su vez el riesgo de fisuras.

Figura 7. Acción del arco sobre el muro.



Fuente: Autores.



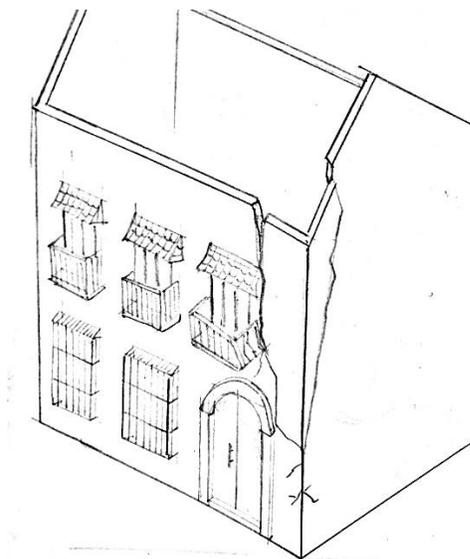
Las casas bajas, aunque en menor medida, también son susceptibles a la ocurrencia de este tipo de fallas. Las aberturas de ventanas muy amplias inciden en la formación de este mecanismo, ya que en estos puntos se presenta una concentración de esfuerzos, además de tener apoyos débiles o deficientes en los dinteles.

Volcamiento de esquina

El volcamiento de esquina es uno de los mecanismos más comunes y generalmente implica movimientos de deslizamiento a lo largo de las grietas en las paredes ortogonales entrelazadas.

El mecanismo se manifiesta a través de la rotación de una cuña de separación, delimitada por superficies de fractura en las paredes que compiten en la esquina libre, alrededor de una bisagra ubicada en la base de la cuña, (Beolchini, 2007). El fenómeno, que por lo tanto puede afectar las diferentes geometrías de los macroelementos involucrados, en ausencia de conexiones efectivas con la parte de los pisos, también puede extenderse a los pisos por debajo del último nivel del edificio. Por lo tanto, está determinado por esquinas que no se encuentran conectadas con los muros transversales o por falta de confinamiento en muros sueltos, (ver figura 8).

Figura 8. Volcamiento de esquina



Fuente: Autores



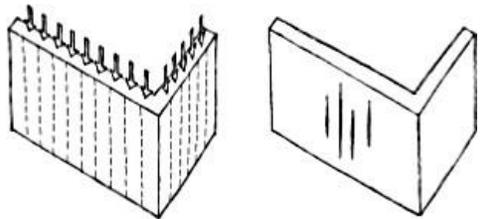
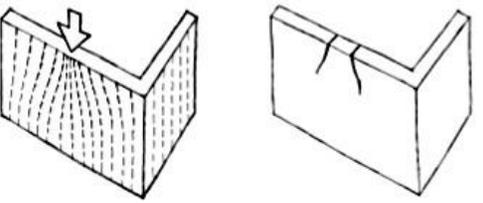
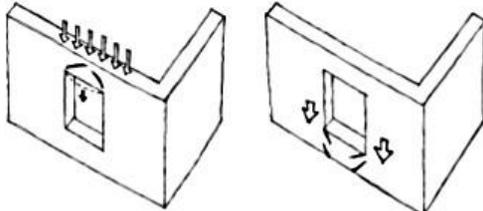
Los vanos para puertas y ventanas debilitan la estabilidad de la pared, y al colocarlos muy cerca de las esquinas favorece la deformación del muro. En las casas altas la falta de uniformidad en los muros superiores de la estructura facilita que en las esquinas se presenten intensas concentraciones de esfuerzos que no logran resistir las plantas superiores. No obstante, en las casas bajas también se exteriorizan estos daños, producto de la inestabilidad de las paredes y de la geometría de la vivienda.

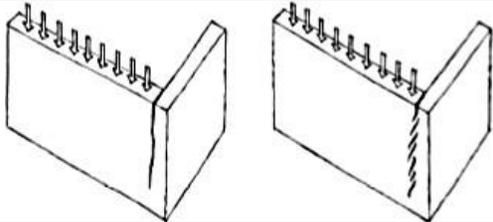
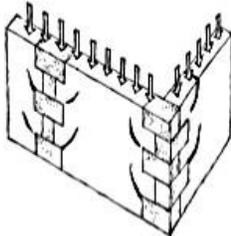
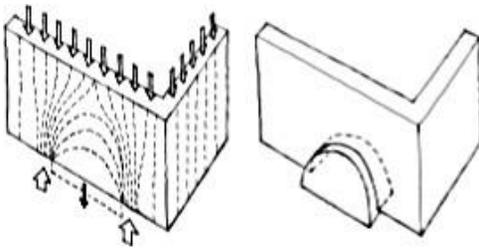
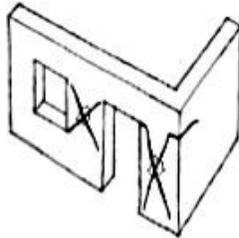
Los mecanismos de falla estudiados en las casas coloniales coinciden con los determinados en el trabajo doctoral del ingeniero Rivera, el cual se basó en una revisión estructural de gran alcance en comparación a la abordada en esta monografía. En concordancia con el trabajo mencionado, esta investigación sugiere que, las intervenciones deberían aplicarse a los puntos más susceptibles de las estructuras, estos son: las zonas críticas de los muros, las conexiones de muros al sistema de techo y el diafragma.

2.3.6. Patologías asociadas a los mecanismos de falla

La ocurrencia de un mecanismo de falla u otro se puede ver relacionado con la acción de fuerzas gravitatorias de sismo y viento, y esto a su vez induce a la formación de un conjunto de lesiones que se evidencian en los elementos estructurales que componen a la vivienda. Estas manifestaciones se producen en la ruta que conduce hacia el colapso, sin llegar a él. El reconocimiento de dichas patologías permite identificar rápidamente soluciones que puedan reforzar la estructura. En la tabla 4 se muestran las lesiones en los muros como resultado de la incidencia de los mecanismos de falla.

Tabla 4. Lesiones estructurales en muros

Tipos de lesiones	Características	Imagen
Lesiones causadas por la concentración de esfuerzos de compresión en un tramo extenso de muro	<ul style="list-style-type: none"> - La ubicación de las grietas se une con las trayectorias de las líneas isostáticas de compresión. - Las fisuras se manifiestan usualmente en las partes más cargadas, es decir, en la zona inferior del muro. - Indican el momento en que la tensión admisible a compresión ha sido alcanzada. 	
Lesiones originadas por cargas puntuales	<ul style="list-style-type: none"> - Las fisuras parten inclinadas de los lados del elemento que genera la carga o pueden presentarse verticales debajo del mismo. - La magnitud del daño va a depender de que tan posible sea redistribuir las tensiones del elemento afectado. 	
Lesiones debidas a insuficiencias de rigidez de los elementos vinculantes	<ul style="list-style-type: none"> - Formación de esquemas singulares de fractura en elementos vinculantes como dinteles. -La falta de rigidez se asocia a la mala colocación de los elementos vinculantes. 	

<p>Lesiones debidas a las diferencias de cargas entre muros transversales</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se presenta una grieta vertical, en la esquina que soporta la carga transmitida por los forjados y la pared transversal 	
<p>Lesiones debidas a diferencias de rigidez entre los materiales componentes de los muros mixtos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aparición de fisuras como resultado de los esfuerzos de cortante originados en lugares donde no se puede deformar el material de menor rigidez por el de mayor rigidez. - No poseen una trascendencia relevante sobre su equilibrio 	
<p>Lesiones debidas a los movimientos diferenciales de los cimientos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Suelen producirse cuando se agota la resistencia a tracción, distribuyéndose en forma de arco de descarga. - Si los asentos son mayores en los extremos que en centro, las tracciones se dirigen hacia estos, produciendo las grietas en dirección perpendicular a las tracciones. 	
<p>Lesiones debidas a los movimientos sísmicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aparición de grietas en forma de cruz en los entrepaños ubicados entre los vanos, lo que indica la fractura por esfuerzos de corte de estas zonas de muro a consecuencia del movimiento. 	

Fuente:(Gómez Diaz, 2005). Adaptado por autores.



2.3.7. Técnicas de intervención

Los edificios de carácter patrimonial, tanto por su esencia como por su valor histórico, generalmente están sujetos a un conjunto de problemas concernientes al diagnóstico y a la restauración, debido a que los preceptos normativos vigentes en el contexto de la construcción limitan la aplicación de algunos métodos de intervención. Por tanto, es vital establecer unas pautas con el fin de garantizar la práctica de técnicas de conservación y restauración, apropiadas a cada ámbito cultural. (International Council on Monuments and Sites, 2003).

- **Intervenciones en los muros**

Las intervenciones a la mampostería se pueden llevar a cabo a través de la implementación de algunas técnicas de refuerzo, tales como la disposición de mallas electrosoldadas en las franjas críticas de los muros, acompañadas de un recubrimiento con mortero de cal y arena. También, por medio de la fijación de tablas de maderas de forma horizontal y vertical con el objetivo de incrementar la resistencia de los muros y conservar el confinamiento de la estructura, (Goyena & Fallis, 2019).

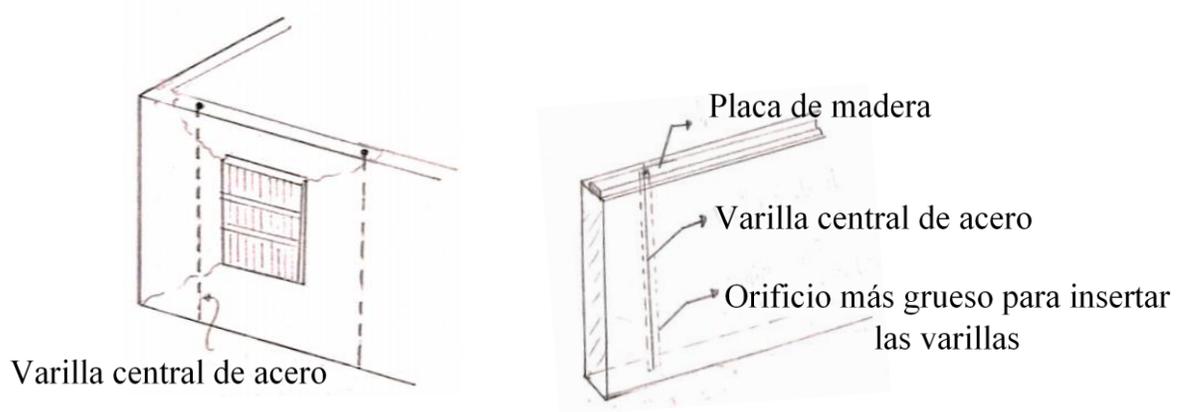
El reforzamiento antisísmico de un muro podría verse perjudicado en gran parte por el grosor que posea éste. Algunos estudios han confirmado que, los muros más delgados solicitan medidas de intervención con más alcance que los muros gruesos, debido a que a los primeros se les considera muy inestables. Todos los muros, sin embargo, son vulnerables a las fisuras de corte y fuera del plano, razón por la cual, las operaciones esenciales para la adecuación sísmica se deben basar en técnicas de intervención que permitan confinar a la estructura, (Tolles et al., 2002).

Teniendo en cuenta que los muros son propensos al volcamiento, es importante que estos se encuentren anclados en la parte superior al entrepiso o al sistema de techo en el caso de las casas bajas. En la mayoría de los casos se puede implementar el anclaje sin la necesidad de reforzar a los muros. Aunque, si se considera la posibilidad de daños estructurales permanentes, adicional al anclaje de los muros, se recomienda reforzar éstos por medio de



varillas centrales en las zonas críticas como las esquinas o aplicarse extendidamente en todo el muro, (ver figura 9). La función de las barras es disminuir las fisuras por corte que pudiesen aparecer dentro del plano y fuera del mismo.

Figura 9. Esquema de varillas centrales de acero insertadas en el centro de un muro

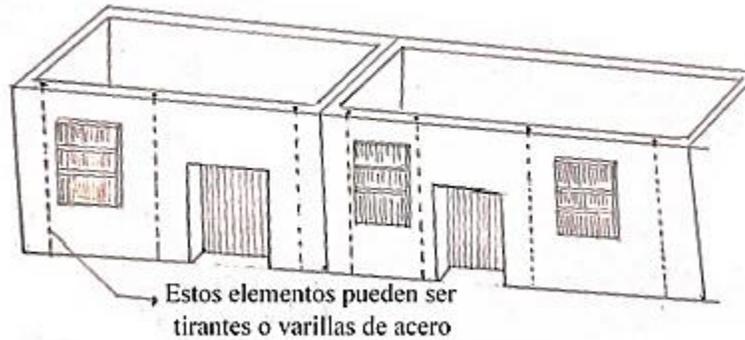


Fuente: Autores

A nivel de seguridad muy alto y grado de daños mínimos, primeramente, se debe garantizar el anclaje de los muros a los sistemas de entrecapado y/o techo, y complementar dicha intervención con el uso de tirantes verticales, cuya función es evitar una falla progresiva en el muro y asegurar que la estructura no se desplome durante un sismo fuerte. Pueden emplearse cables o tirantes, el propósito de éstos es el de limitar los desplazamientos relativos de las secciones del muro, aumentar la resistencia a la flexión fuera del plano y dar continuidad en el plano, y, asimismo, incrementar la ductilidad del sistema estructural, (ver figura 10).



Figura 10. Representación de los elementos verticales sumando flexibilidad a la estructura restringiendo el desplazamiento de segmentos de un muro



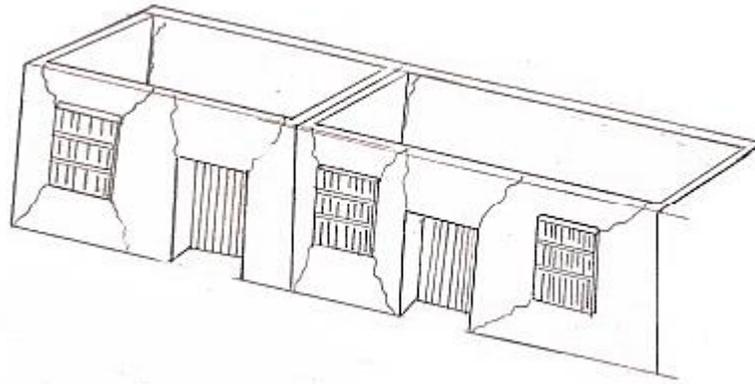
Fuente: Autores

Cuando ocurre un sismo, los muros se rajan y forman considerables segmentos o pedazos de muro, habitualmente dichos pedazos son producidos por las rendijas que aparecen en las aberturas de los muros de arriostramiento, en las esquinas, en la mitad y en otras intersecciones de éstos, e inclusive en zonas de incompatibilidad entre materiales. Por lo general, los colapsos son detectados y se presentan por la fragilidad de estos pedazos del muro agrietado. También, cabe mencionar que, cada segmento puede desplazarse y volcarse independientemente.

Debido a lo anterior, cuando se planea la intervención del muro, la predicción de grietas cobra un gran valor (aun cuando este ejercicio sea un poco impreciso), ya que orienta al diseñador a instalar selectivamente el refuerzo en las zonas o sitios que pueden ser más vulnerables al colapso durante el sismo, por ejemplo, una puerta o ventana que esté muy cerca de una esquina, (ver figura 11). En estos casos, las varillas centrales en los muros con relleno de mortero acompañado de un buen anclaje a un elemento superior de muro como una viga collar, resulta una intervención eficiente que ayuda a prevenir la ocurrencia de un mecanismo de falla, (ver figura 12).

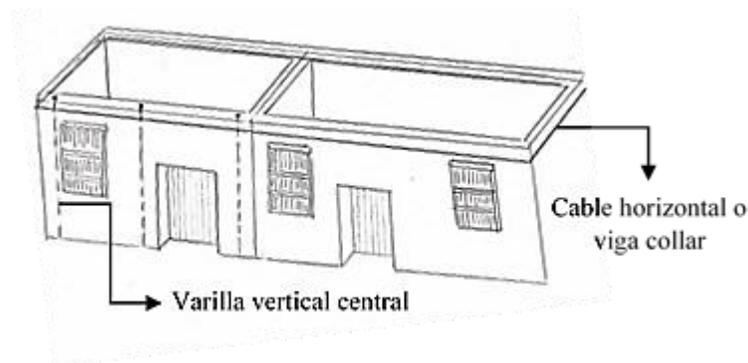


Figura 11. Proyección de la posible creación de segmentos resultante de la predicción de patrones de agrietamiento



Fuente: Autores

Figura 12. Dibujo de varillas centrales ancladas a elementos horizontales superiores de muro



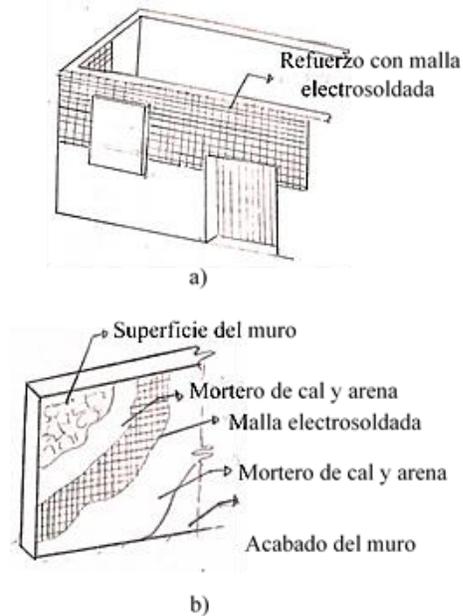
Fuente: Autores

Para mejorar la resistencia a esfuerzos laterales, se encontró en la bibliografía un estudio cuyo objetivo es reforzar la mampostería con pañete estructural en una cara del muro, los resultados arrojaron que ante fuerzas laterales el muro reforzado resistió entre 4 a 5 veces más que uno sin refuerzo, (Goyena & Fallis, 2019). Estos resultados se podrían optimizar si se ejecuta el reforzamiento en ambas caras del muro. Para la realización de la intervención se debe cuidar la separación de los anclajes de la malla electrosoldada, así como calidad de



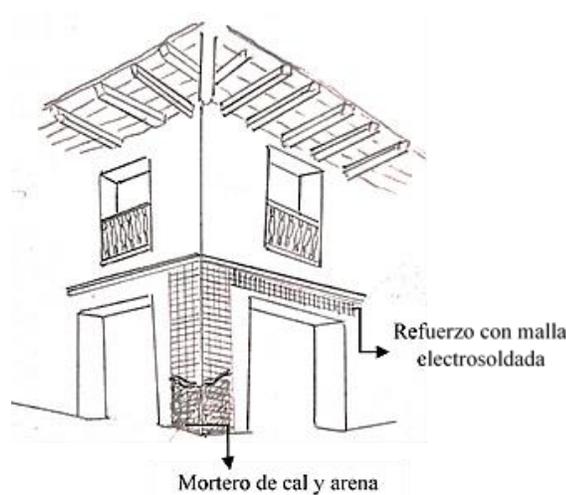
estos, ya que de esta forma se obtienen excelentes valores de resistencia en la elaboración o implementación del pañete estructural, (ver figura 13 y 14).

Figura 13. Ilustración de mampostería reforzada con pañete estructural



Fuente: Autores

Figura 14. Representación de una casa colonial intervenida con pañete estructural



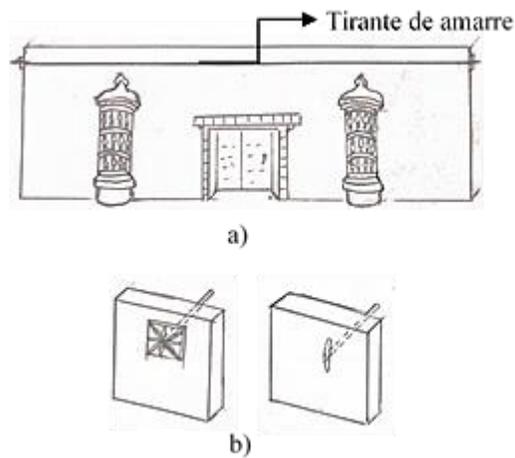
Fuente: Autores



- **Conexiones entre muros**

Las conexiones de muro a muro son necesarias para mejorar el soporte lateral de la mampostería. Habitualmente, se procede a instalar tirantes de amarre con el propósito de impedir el volcamiento de dos paredes ortogonales, (ver figura 15a). Los tirantes de amarre son barras de acero roscadas, fijadas con tuercas y platinas para lograr distribuir los esfuerzos en la parte externa de los muros paralelos, (ver figura 15b).

Figura 15. Conexiones entre muros mediante tirantes de amarre



Fuente: Autores

Por su parte, obtener conexiones eficaces entre muros ortogonales resulta ser más difícil, debido a la disconformidad entre los desplazamientos en el plano y fuera de él de los muros. En la actualidad se han desarrollado técnicas modernas para ejecutar estas conexiones, una muy conocida son los cosidos armados.

- **Anclaje del muro al sistema de techo**

La unión de los muros al sistema de techo es sustancial para conseguir la integridad de las casas y, para prevenir los desplazamientos relativos techo-muro. En las construcciones



históricas, las estructuras de techo suelen estar ligeramente unidas al muro, en ocasiones, tan sólo se apoyan en éstos, e infortunadamente ambos escenarios se presentan en las casas coloniales.

Para el reforzamiento antisísmico, el procedimiento de intervención que se podría llevar cabo consiste en emplear múltiples puntos de anclaje entre el sistema de techo y los muros, para lograr ese cometido se utilizan varillas de acero, las cuales ayudan a distribuir las cargas de manera uniforme sobre la parte superior del muro, como se observa en la figura 16.

Figura 16. Ilustración del anclaje de muro al sistema de techo



Fuente: Autores

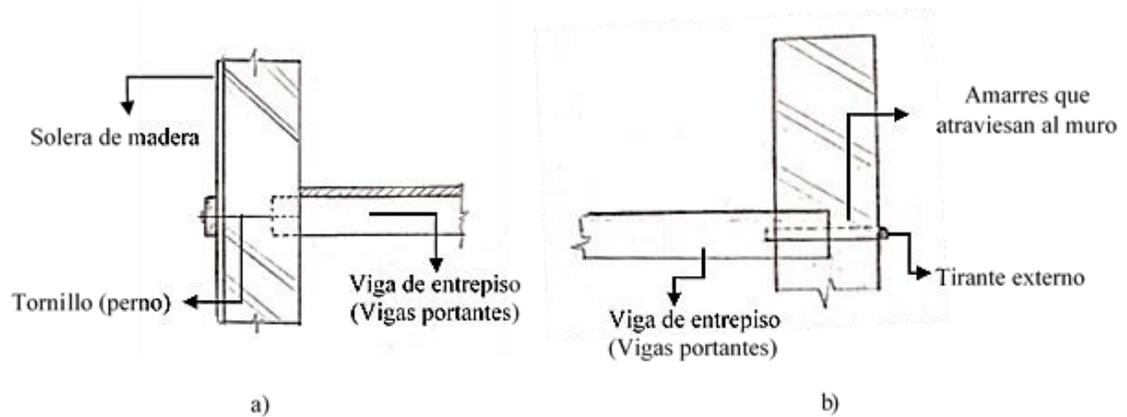
Adicionalmente, un sistema de cableado horizontal en la parte superior de los muros podría servir como un elemento redundante en caso de que los puntos de anclaje de dicha parte llegasen a fallar, (Tolles et al., 2002).



- **Conexiones entre el entrepiso y los muros**

Cuando no existe anclaje alguno entre el entrepiso y los muros, existe la probabilidad de deslizamientos de las viguetas del entrepiso con relación a las paredes. Algunas intervenciones que se pueden realizar consisten en instalar un elemento continuo externo a las vigas del entrepiso que atraviesan los muros y fijar pernos en el extremo de las vigas para impedir el desplazamiento relativo de los muros y las vigas de entrepiso, (ver figura 17a). Otro método eficaz es la unión de las vigas de entrepiso a través de un muro externo a un cable horizontal perimetral; también se pueden usar tirantes para lograr esta unión, (ver figura 17b).

Figura 17. Esquema de conexiones entre los muros y el entrepiso



Fuente: Autores

- **Diafragmas**

La función principal del diafragma horizontal es soportar las cargas y transmitir las a los elementos estructurales. Las casas coloniales altas carecen de diafragmas rígidos, por lo cual, bajo la acción de fuerzas sísmicas, la vivienda no trabaja como un conjunto único.

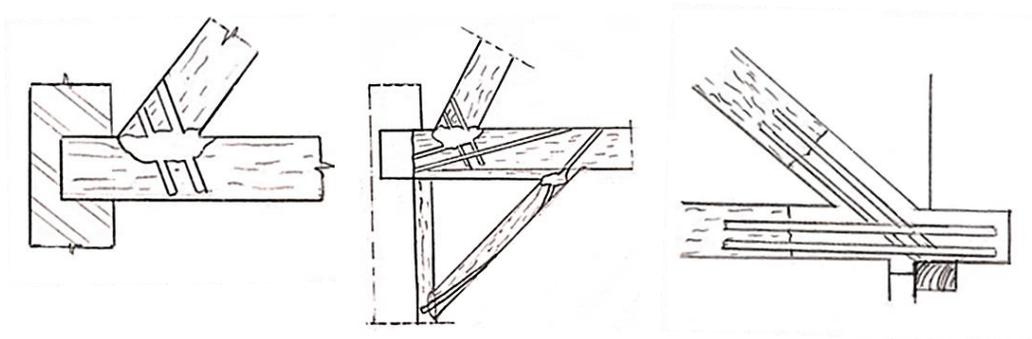


Una manifestación común de la madera cuando está sometida a esfuerzos de flexión es la fluencia, la cual se entiende como la cualidad o característica que posee un material para deformarse de manera progresiva bajo la acción de cargas sin necesidad de que éstas aumenten, esto interviene directamente en la disminución de la capacidad resistente del elemento del que hace parte, (Gomez Diaz, 2005).

El extremo de las vigas de madera es uno de los más afectados o expuestos a la degradación, en este se pueden producir fallas debido a sobreesfuerzos a cortante, para la reparación de la zona deteriorada la intervención adecuada se realiza mediante la utilización de fibra de vidrio, con una prótesis adherida por medio de resinas epóxicas. De esta forma se crean conexiones efectivas, donde los esfuerzos se transmiten de forma adecuada y se minimizan las sobrecargas.

En elementos que pueden presentar alguna inclinación como, es el caso de los pie de amigo, es preciso realizar un cocido con barras de acero y la restauración de la madera deteriorada, se hace utilizando prótesis que pueden ser del mismo material o mediante un mortero epoxi con incorporación de fibra de vidrio, (Arango Sierra, 2015), (ver figura 18).

Figura 18. Intervención en elementos inclinados.



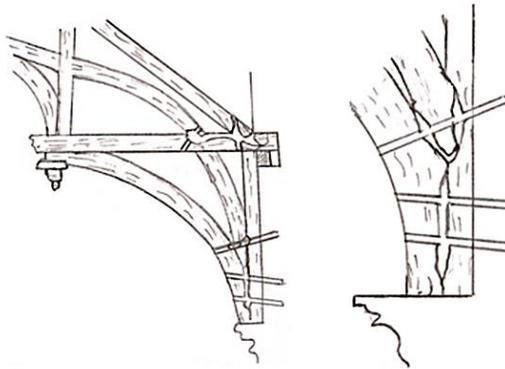
Fuente: Autores.

En el caso de tirantas en cerchas se puede intervenir eliminando toda la madera que se encuentra deteriorada y posteriormente se añade madera hasta completar la pieza



nuevamente, esta unión se puede realizar con embarbillado o una conexión carpintera. También se puede unir y rigidizar a base de fibra de vidrio, (ver figura 19).

Figura 19. Intervención de tirantas en cerchas.



Fuente: Autores.

- **Intervenciones en acabados**

Debido a las altas condiciones de humedad que presenta la ciudad de Cartagena, es necesario implementar acabados de resinas siloxánicas, en la parte interior y exterior de las viviendas coloniales. Con esto se reduce la entrada de agua a la parte interior del muro y a su vez por la alta resistencia al calor de este tipo de pinturas ofrece protección contra los rayos ultravioletas, garantizando acabados mucho más duraderos y cuidando los colores para conservar la imagen original de las fachadas.

Las acciones que se deben tomar en cuenta para evitar que se produzcan las lesiones y los mecanismos de falla estudiados se encuentran sintetizadas en la tabla 5, cabe resaltar, que la influencia de un mecanismo u otro va a estar determinada por diferentes condiciones, por tanto, las intervenciones deben priorizarse en los puntos más susceptibles establecidos por este trabajo. Al considerar lo anterior, se podría garantizar un buen desempeño de la edificación ante un sismo aun cuando ésta no se encuentre intervenida en su totalidad.



Técnicas de intervención para la conservación de las casas de tipología colonial del Centro histórico de Cartagena de Indias.



Además, se deben tomar medidas de mantenimiento que ayudarán a que las reparaciones aplicadas sean efectivas y duraderas y permitirá detectar a tiempo problemas que se presenten en caso de que sea necesario nuevamente, un proceso de intervención.



Tabla 5. Plan y control de intervenciones a las casas coloniales

PLAN DE INTERVENCIÓN A LAS CASAS COLONIALES					
ELEMENTO		TIPO DE INTERVENCIÓN	TÉCNICA DE INTERVENCIÓN	MATERIALES APLICADOS A LA INTERVENCIÓN	ACCIÓN DE MANTENIMIENTO
1	Muros	Refuerzo y/o reparación	<ul style="list-style-type: none"> • Pañete estructural • Elementos verticales (Varillas centrales y/o tirantes) • Elementos verticales anclados a elementos horizontales superiores de muro (Cable horizontal y/o viga collar) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mortero de cal y arena • Mallas electrosoldadas de acero inoxidable • Varillas de acero inoxidable • Viga collar de madera • Cable horizontal de acero inoxidable 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisiones periódicas de los elementos reparados. • Sellar la superficie de piedra y ladrillos. • Revisión de la integridad física y mecánica de todos los elementos • Aplicación de barnices y pinturas.
1.1	Conexión entre muros	Refuerzo	<ul style="list-style-type: none"> • Tirantes de amarre • Cosidos armados 	<ul style="list-style-type: none"> • Tirantes de acero inoxidable y templado • Barras helicoidales de acero inoxidable • Fibra de carbono 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisiones periódicas de los elementos reparados. • Pinturas anticorrosivas en los elementos de acero • Verificación del estado de las fibras
1.2	Anclaje del muro al sistema techo	Refuerzo	<ul style="list-style-type: none"> • Puntos de anclaje entre el sistema de techo y los muros • Sistema de cableado horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> • Varillas y cable de acero inoxidable 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisiones periódicas de los elementos reparados. • Limpieza de sumideros y canalones



1.3	Conexión entre los muros y el entrepiso	Refuerzo	<ul style="list-style-type: none"> • Insertar elemento continuo externo a las vigas del entrepiso que atraviesan los muros. • Anclaje de pernos en el extremo de las vigas. • Unión de las vigas de entrepiso a través de un muro externo a un cable horizontal perimetral. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pernos, cable horizontal y tirantes de acero inoxidable y templado. • Madera 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisiones periódicas de los elementos reparados. • Limpieza de la madera • Verificación periódica de las uniones.
2	Diafragma	Refuerzo, sustitución y/o reparación	<ul style="list-style-type: none"> • Reparación del extremo de las vigas portantes. • Sustitución de la madera dañada. • Cosido con barras de refuerzo. • Reconstrucción de la madera perdida 	<ul style="list-style-type: none"> • Fibra de vidrio • Resinas epóxicas • Madera de buena calidad • Barras de acero inoxidable 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisiones periódicas de los elementos reparados. • Aplicación de pinturas contra microorganismos y animales xilófagos • Verificación de la integridad física y mecánica de los elementos • Limpieza de la madera • Verificación de filtración de humedad
3	Acabados	Saneamiento y/o restauración	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de resinas con alta resistencia de infiltración 	<ul style="list-style-type: none"> • Resinas siloxánicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza periódica

Fuente: Autores



3. CONCLUSIONES

Los objetivos específicos de esta monografía consistían inicialmente en identificar las casusas que generan fallas físicas, químicas y mecánicas en las casas coloniales y en conjunto con esto, identificar los mecanismos de falla recurrentes en las estructuras después de movimientos sísmicos. Teniendo claro esto, se plantea un estudio patológico del estado de las casas de forma general, a través de la bibliografía recolectada. Finalmente se identificaron las técnicas de intervención aplicadas a bienes patrimoniales tanto a nivel nacional como internacional para determinar cuáles son los materiales compatibles con los utilizados originalmente y de esta forma establecer la intervención adecuada en la estructura.

El desgaste y los daños que se pueden evidenciar en las casas coloniales de la ciudad de Cartagena se deben en mayor medida a la humedad y la exposición a un medio ambiente adverso. Además, el cambio de uso de las casas coloniales con fines turísticos o económicos es un factor que desencadena lesiones mecánicas. El grado de deterioro de la estructura puede variar dependiendo de los materiales que sean atacados por estas lesiones, el tiempo de exposición y las medidas que se tomen en materia de reparación y protección.

Se identificaron 5 mecanismos de colapso recurrentes en las estructuras después de un movimiento sísmico; volcamiento simple, volcamiento compuesto, flexión horizontal, flexión vertical y volcamiento de esquina. Su manifestación en la estructura se ve influenciada por la tipología colonial propia de las casas de Cartagena de Indias. Aun cuando ambas no presenten conexiones efectivas, lo cual facilita la ocurrencia del mecanismo, su incidencia es mayor en las casas altas debido a que estas carecen de un diafragma rígido, lo que permite que al momento de un sismo la vivienda no actúe como un conjunto único.

Las casas coloniales no responderán favorablemente ante un evento sísmico, éstas no ofrecen un grado alto de seguridad y requieren la intervención como medida de conservación del patrimonio. Este diagnóstico se apoyó en métodos de investigación histórica de carácter cualitativo, mediante una revisión bibliográfica de las casas coloniales. Como resultado, los



estudios encontrados en la literatura permitieron conocer acerca de la baja calidad de los materiales, el estado regular de los elementos estructurales de las viviendas, y el índice medio-alto en vulnerabilidad sísmica de las mismas. El análisis que se elaboró de los mecanismos de falla por su parte, permitió identificar las fallas típicas en las estructuras de mampostería no reforzada después de un sismo, además de, el conjunto de lesiones y patologías asociados a estos.

Existen diferentes criterios de intervención que limitan la aplicación de técnicas de intervención en bienes patrimoniales, bajo las cláusulas establecidas por la UNESCO de conservación de la esencia, originalidad y autenticidad de estas estructuras. Las técnicas de intervención estudiadas a nivel nacional e internacional comprenden la utilización de materiales compatibles con los originales que no modifiquen ni alteren la imagen que simbolizan; como lo es el reforzamiento con acero para contrarrestar esfuerzos de tracción, y existen otras un poco más innovadoras con tecnologías modernas, que utilizan materiales compuestos como los morteros reforzados con fibras y las mallas elaboradas de fibras de carbono, vidrio o basalto reforzadas con polímeros.

Los principales problemas de las casas coloniales se deben a la ausencia de conexiones adecuadas entre las paredes, por tanto, las intervenciones adecuadas se basan en crear una conexión eficiente entre los muros, anclajes del muro con la cubierta, conexiones en entresijos y muros, reforzamiento del diafragma y protección de los acabados para garantizar una intervención global.

3.1.Recomendaciones

- Los resultados de esta monografía fueron obtenidos a partir de una investigación de carácter cualitativo, por lo cual se recomienda que estos puedan ser complementados con estudios de tipo cuantitativo, cuyo objetivo se centre en el análisis estructural y de sismicidad de las casas coloniales mediante sistemas de modelación matemática y simulación con software. Debido a que, con un estudio más integral, se garantiza que



las intervenciones seleccionadas para prevenir los mecanismos de falla sean las más adecuadas.

- En caso de que las conexiones entre muros sean rígidas, las fuerzas originadas localmente podrían ser considerables y, en consecuencia, las conexiones probablemente llegasen a fallar o no funcionar generando daños no previstos al muro. Por tanto, las conexiones a emplear deben ser diseñadas rigurosamente apoyadas en estudios y /o simulaciones que permitan analizar el comportamiento e interacción de éstas frente a un sismo.
- Analizar el comportamiento sísmico de las estructuras históricas no puede considerarse una ciencia exacta, ya que nunca se alcanza a predecir totalmente el comportamiento del edificio frente al sismo y la aparición de los mecanismos de falla. No obstante, incluir vías alternativas para la transferencia de fuerzas podría brindar mayor confianza en el diseño de adecuación sísmica.
- Los elementos de madera deben tener especial cuidado ya que al presentar problemas de humedad o filtración de aguas lluvias estos se deterioran con mayor facilidad, generando daños que provocan la pérdida de capacidad portante de los elementos estructurales construidos en este material. Así mismo la presencia de animales xilófagos puede degradar la madera logrando que esta pierda características físicas y mecánicas, por lo cual es recomendable agregar pinturas diseñadas para evitar este tipo de microorganismos.
- Para garantizar un comportamiento monolítico de las casas coloniales, se debe mejorar la conexión entre los muros ortogonales o entre los muros T para evitar su desplome. Existen técnicas de intervención modernas de cosidos armados que ayudan a este propósito, y estos pueden ser de dos tipos. El primero consiste en la inyección de lechada fluida en el interior de tubos de fibra de carbono y, la segunda técnica se trata de un cosido en seco mediante barras helicoidales de acero inoxidable. Los materiales que se emplean en estas técnicas de intervención se adecúan a los



Técnicas de intervención para la conservación de las casas de tipología colonial del Centro histórico de Cartagena de Indias.



principios de compatibilidad con la estructura existente, tales como la reversibilidad, la durabilidad y el impacto mínimo en la configuración geométrica de las casas coloniales.

- Finalmente, y no por ello menos importante, se recomienda elaborar un plan de mantenimiento y conservación posterior a la aplicación de las técnicas propuestas, para garantizar la efectividad de las intervenciones aplicadas y mantener la funcionalidad de las estructuras. Además, para prever cualquier tipo de problema que se pueda presentar, incluso si estos son externos a las intervenciones efectuadas.



4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña Caro, A. (2018). *Análisis comparativo de resistencia a compresión en muros de mampostería, por medio del uso de fibras de carbono y basalto para procesos de restauración y conservación*. 148.
- Albelo, J. (2017). *Los criterios de restauración de Viollet-le-Duc, Ruskin y Boito*.
<https://www.cromacultura.com/restauracion-viollet-le-duc-ruskin-boito/>
- Arango Sierra, L. J. (2015). *ELEMENTOS DE MADERA EN EDIFICACIONES DE VALOR PATRIMONIAL E INTERÉS CULTURAL Edificaciones asociadas al Ferrocarril en el Nordeste Antioqueño*.
- Beolchini, G. C. (2007). *Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura*. 312.
- Black, H., & Wall, G. (2001). Global–Local Inter-relationships in UNESCO World Heritage Sites. In P. Teo, T. C. Chang, & K. C. Ho (Eds.), *Interconnected worlds tourism in Southeast Asia* (Elsevier, pp. 121–136).
- Borri, A., Castori, G., & Corradi, M. (2010). Masonry columns confined by steel fiber composite wraps. *Materials*, 4(1), 311–326. <https://doi.org/10.3390/ma4010311>
- Broto, C. (2006). Enciclopedia Broto de patologías de la construcción: Conceptos generales y fundamentos. *Patologias de Construcción*, 1389.



https://higieneyseguridadlaboralcv.files.wordpress.com/2012/07/enciclopedia_broto_de_patologias_de_la_construccion.pdf

Chica, A., & Fuertes, A. (2018). Enfoque para el análisis estructural y protección sísmica de edificaciones patrimoniales , a partir de la caracterización de sus particularidades técnicas Approach to the Structural Analysis and Seismic Protection of Heritage Buildings based on the Charac. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33, 315–326.

Damas Mollá, L., Uriarte, J. A., Aranburu, A., Bodego, A., Balciscueta, U., García Garmilla, F., Antigüedad, I., & Morales, T. (2018). Systematic alteration survey and stone provenance for restoring heritage buildings: Punta Begoña Galleries (Basque-Country, Spain). *Engineering Geology*, 247(May), 12–26.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.10.009>

Del rio, M. C. (2008). SISTEMA “STRUCTURA” PARA FACHADAS DE LADRILLO CARA VISTA. *Conarquitectura*, 81–91.

Echeverría, D. F., & Malambo, J. H. (2016). *Elaboración De Un Plan De Intervención a La Patología En Fachadas De Casas Coloniales En El Barrio San Diego Mediante El Uso De Técnicas Antiguas Y Modernas*.

EPA Cartagena. (n.d.). *HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO CARTAGENA*.
<http://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/calidad-ambiental/sistema-urbano/humedad-relativa-promedio/#:~:text=El valor medio de la,y 73%25%2C>



respectivamente).

García, L. E. (2015). Desarrollo de la Normativa Sismo Resistente Colombiana en los 30 años desde su primera expedición. *Revista de Ingeniería*, 0(41), 71. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i41.785>

Gomez Diaz, C. (2005). Herramienta 5. Comprender las lesiones estructurales. In *Método Rehabimed. Arquitectura tradicional mediterranea II* (pp. 195–206).

Goyena, R., & Fallis, A. . (2019). ESTADO DEL ARTE DE METODOLOGÍAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES DE PATRIMONIO CULTURAL CASO BOGOTÁ D.C. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Hincapié Fajardo, S. (2010). *Estrategia De Intervencion Patrimonial Aplicada Al Barrio De Getsemani En Cartagena De Indias*. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/4062/tesis312.pdf?sequence=1>

International Council on Monuments and Sites. (2003). Restauración De Las Estructuras Del Patrimonio Arquitectónico. *4ª Asamblea General Del ICOMOS, En Victoria Falls, Zimbabwe*, 1–4.

Lleida Alberch, M. (2010). Enseñanza de las ciencias sociales : revista de investigación.



Enseñanza de Las Ciencias Sociales, 9.

<http://www.redalyc.org/html/3241/324127609005/>

Moreno-Fernández, E., González-Yunta, F., Pinilla-Melo, J., & Mayo-Corrochano, C. (2017). Metodologías de identificación de materiales para la intervención en el patrimonio arquitectónico. *Dyna (Spain)*, 92(2), 163–167. <https://doi.org/10.6036/8200>

Niglio, O., & Valencia Mina, W. (2013). *Evolución de la ingeniería sísmica, presente y futuro: caso Colombia e Italia. February*. <https://www.researchgate.net/publication/256482311>

Oriente, M., Pichu, M., Majal, T., & Bartolom, S. (1998). *Comportamiento sísmico de edificios de mampostería no reforzada*. 185–228.

Patiño Zuluaga, E. (2012). Patrimonio y urbanismo. Estrategias metodologicas para su valoración e intervención. *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 25(2), 352–363.

Peña Mondragón, F., & Lourenço, P. B. (2012). Criterios Para El Refuerzo Antisísmico De Estructuras. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 66(87), 47. <https://doi.org/10.18867/ris.87.45>

Peñaranda, L. (2011). *Manual para la conservación del patrimonio arquitectónico habitacional de Sucre*. 97. <http://www.aacid.es/Centro->



Documentacion/Documentos/Publicaciones coeditadas por
AECID/Manual_de_Intervencixn_PRAHS.pdf

PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. (2008). RehabiMed aporta una herramienta de futuro para la rehabilitación de la arquitectura tradicional. *PH-IAPH*, 4–15.

Puertolas Coli, L. (2001). Breve reseña sobre las teorías de restauración referidas al patrimonio arquitectónico. In *Serrablo* (pp. 28–30).

Rivera Martínez, W. (2019). EVALUATION OF THE SEISMIC VULNERABILITY OF COLONIAL TYPOLOGY HOUSES IN CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA. *GLOBAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE AND RESEARCHES*, 117–125.
<https://doi.org/10.5281>

Rivera Torres, J. C. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 25(2), 164–181.

Rivera, W. (2018). *LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL, LA NORMATIVA DE CONSTRUCCIÓN COLOMBIANA VIGENTE Y LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DE LAS EDIFICACIONES DEL PERÍODO COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS* (Issue September). Universidad de Granada, Universidad de Cartagena, Universidad Simón Bolívar.



- Ruiz-Jaramillo, J., Muñoz-González, C., Joyanes-Díaz, M. D., Jiménez-Morales, E., López-Osorio, J. M., Barrios-Pérez, R., & Rosa-Jiménez, C. (2019). Heritage risk index: A multi-criteria decision-making tool to prioritize municipal historic preservation projects. *Frontiers of Architectural Research*, *xxxx*. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.10.003>
- Saldarriaga Roa, A. (2011). La restauración del patrimonio construido en Colombia. In *Experiencias y metodos de restauración en Colombia* (Aracne, pp. 29–36).
- Settembre Blundo, D., Ferrari, A. M., Fernández del Hoyo, A., Riccardi, M. P., & García Muiña, F. E. (2018). Improving sustainable cultural heritage restoration work through life cycle assessment based model. *Journal of Cultural Heritage*, *32*, 221–231. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.01.008>
- Su, Y. W., & Lin, H. L. (2014). Analysis of international tourist arrivals worldwide: The role of world heritage sites. *Tourism Management*, *40*, 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2013.04.005>
- Taj, S., Munawar, M. A., & Khan, S. (2007). Natural fiber-reinforced polymer composites NATURAL FIBER-REINFORCED POLYMER COMPOSITES. *Pakistan Academy of Sciences, January 2007*, 129–144.
- Tellez, G., & Moure, E. (1988). *Arquitectura doméstica de Cartagena de Indias* (Escala).
- Terán Bonilla, A. J. (2004). Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la restauración



arquitectónica. *Conserva*, 101–122.

Tolles, E. L., Kimbro, E. E., & Ginell, W. S. (2002). Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sismorresistente de estructuras históricas de adobe. *GCI Scientific Program Report NV - Xiv*, 142 p. : 83 Ills., 2 Tables, Bibliog.

Yamín, L., Philips, C., Reyes, J., & Ruiz, D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 20(2), 286–303.



Técnicas de intervención para la conservación de las casas de tipología colonial del Centro histórico de Cartagena de Indias.

