



Revisión bibliográfica sobre la respuesta estructural de muros de corte de madera de entramado liviano variando detalles constructivos.

Andrés Alberto Salas Salcedo

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras

Tutora

Manuela Ochoa Soto, Especialista (Esp) en Análisis y Diseño de Estructuras

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras

Medellín, Antioquia, Colombia

2023

Cita

(Salas Salcedo, 2023)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Salas Salcedo, A. (2023). *Revisión bibliográfica sobre la respuesta estructural de muros de corte de madera de entramado liviano variando detalles constructivos* [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras, Cohorte X.

Grupo de Investigación Seleccione grupo de investigación UdeA (A-Z).

Seleccione centro de investigación UdeA (A-Z).



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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

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

Dedicatoria

A Johana Mejía, cuyo amor y bondad es la fuerza estabilizadora de todo mi ser.

Tabla de contenido

Lista de tablas	5
Lista de figuras	6
Siglas, acrónimos y abreviaturas	7
Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1. Justificación	11
2. Objetivos	12
2.1. Objetivo general	12
3. Marco teórico	13
4. Estado del arte.....	15
5. Resultados y Conclusiones	18
Referencias	20

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Resumen de estado del arte actualizado</i>	18
--	----

Lista de figuras

Figura 1 Estructura de un muro de corte típico.....	13
Figura 2 Modelo tridimensional de estructura experimental	14
Figura 3 Platina de cubierta.....	15
Figura 4 Modelo de instrumentación de las pruebas de cargas.....	17

Siglas, acrónimos y abreviaturas

NSR-10	Reglamento Colombiano para la construcción y el diseño sismorresistente
AIS	Asociación de Ingeniería Sísmica Colombiana
OSB	Oriented Strand Board
SST	Simpson Strong-Tie®
SPDWS	Special Design Provisions for Wind & Seismic
PRM	Porticos Resistentes a Momentos

Resumen

La madera como material de construcción, se ha implementado desde hace más de 300 años en zonas costeras como recurso alternativo en lugares de difícil acceso y que presenten altos niveles de cloruro. Con el transcurso del tiempo, se ha reglamentado el uso de esta y su implementación está diversificada en todo el mundo. Dentro de los principales precursores y productores, se encuentran Canadá, Chile y Estados Unidos. Sin embargo, en Colombia, pese a que las estructuras en madera se encuentran reglamentadas, no se profundiza el estudio ni la implementación de estas a nivel de diseño. En el proyecto de Reconstrucción de viviendas en las islas de San Andrés y Providencia, debido al paso del Huracán Iota (2020), el 95% de las viviendas contaron con muros de corte en madera como sistema principal de soporte estructural. Debido a esto, los ingenieros estructurales encargados se vieron obligados a estudiar normativa extranjera para diseñar estas casas. Se componían principalmente de muros de corte de entramado liviano, con material contrachapado como revestimiento exterior, los cuales, tuvieron una respuesta favorable con el uso de refuerzos metálicos complementarios en las uniones. En este estudio, se realizó una revisión de literatura respecto a las capacidades de muros de corte de entramado liviano en madera, variando su configuración constructiva y se compararon los resultados, obteniendo mejores resultados en los muros donde se enfatizó las uniones.

Palabras clave: muros de corte, madera, Providencia, patrón de clavado, entramado liviano.

Abstract

Wood as a construction material has been implemented for more than 300 years in coastal areas as an alternative resource in places that are difficult to access and have high levels of chloride. Over time, its use has been regulated and its implementation is diversified throughout the world. Among the main precursors and producers are Canada, Chile and the United States. However, in Colombia, although wooden structures are regulated, the study and implementation of these at the design level is not in-depth. In the housing reconstruction project on the islands of San Andrés and Providencia, due to the passage of Hurricane Iota (2020), 95% of the homes had wooden shear walls as the main structural support system. Due to this, the structural engineers in charge were forced to study foreign regulations to design these houses. They were mainly composed of light frame shear walls, with plywood material as exterior cladding, which had a favorable response with the use of complementary metal reinforcements at the joints. In this study, a literature review was carried out regarding the capabilities of lightweight wood frame shear walls, varying their construction configuration and the results were compared, obtaining better results in the walls where joints were emphasized.

Keywords: shear walls, wood, Providencia, nailing pattern, light framing.

Introducción

Los métodos de diseño tradicionales y sus sistemas constructivos, se enfocan normalmente en pórticos y en concreto reforzado o estructuras en acero laminado. No obstante, es poco usual el uso de estructuras de madera como principal de resistencia de cargas, a pesar de las ventajas que presenta una correcta configuración.

Los muros de corte en madera son considerablemente eficientes, si se tiene en cuenta su peso comparado con la resistencia a cargas laterales y rigidez que puede ofrecer, esto sin contar las ventajas constructivas y de servicio, como, prefabricación, resistencia a ambientes agresivos, facilidad de recubrimiento, entre otras. En Colombia se utiliza madera en estructuras especiales por disposiciones arquitectónicas, como cabañas, *glampings*, *ecohabs*, y similares; no obstante, las estructuras de madera pueden ofrecer PMR e incluso sistemas a porticados de hasta 3 niveles.

Este trabajo busca realizar una revisión de literatura y promover el uso sistemas de ejecución de muros de corte en estructuras livianas (compuestos principalmente por madera) como alternativa a los diseños convencionales, demostrando el vacío que existe en el estudio de parámetros como análisis no lineal, conexiones de sus componentes y materiales utilizados, con las cuales es posible incrementar las capacidades de resistencia a cargas y proponerlo como un sistema sostenible, práctico y eficiente. Así mismo, abrir el camino a una línea investigativa más amplia con el mismo material, pero con diferentes sistemas constructivos.

1. Justificación

Las construcciones en entramados livianos en madera se han convertido en una alternativa de diseño y construcción alrededor de todo el mundo en las últimas décadas, por su practicidad, prefabricación, velocidad en la construcción y en general por su versatilidad para potenciar soluciones medioambientales. Sin embargo, en Colombia se puede evidenciar una carencia investigativa y académica en la composición de estos. Si bien, el Reglamento Colombiano para el Diseño y la Construcción Sismorresistente (NSR-10) contiene un apartado completo dedicado a las estructuras en madera (Título G), este no profundiza el caso de los muros de corte compuestos, para el cual solo dedica dos páginas en las que se presentan conceptos básicos y una tabla de coeficientes de conversión a longitudes equivalentes, es decir, prediseños establecidos sin respaldo científico y desarrollados para facilitar su concepción, diseño y construcción. Aun así, se sabe que estos muros de corte son susceptibles a cambios en referencia al aumento de resistencia y rigidez si se emplean elementos complementarios y se varían las disposiciones constructivas como como patrones de clavado, platinas, riostras, longitud de tornillos, entre otros.

En el proyecto de reconstrucción de viviendas en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina debido al paso del huracán Iota en noviembre de 2020, contempló la construcción y rehabilitación de más de 2000 viviendas cuyo sistema principal de soporte consistía en muros de corte de madera. Los datos obtenidos en esta experiencia y las inquietudes plasmadas anteriormente fueron la motivación principal para llevar a cabo este estudio.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Realizar una revisión bibliográfica de los muros de corte de entramado liviano en madera y su comportamiento si se varían detalles constructivos.

3. Marco teórico

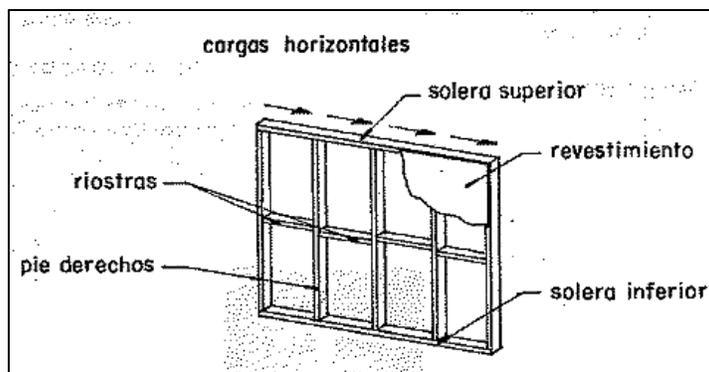
Los sistemas de muros de corte y entramado ligero no son métodos de construcción recientes, de hecho, su uso en la Isla de Providencia data de hace 300 años aproximadamente (AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010) y se cree que su influencia ha sido marcada por las islas del caribe y zonas costeras de Norteamérica y ha sido mejorada con el tiempo y la experimentación. Por su parte, los estudios científicos y métodos de diseños apropiados son de tiempos relativamente más recientes.

Debido a la poca homogeneidad que constituyen, los muros de corte de entramado liviano se pueden definir como tableros estructurales compuestos por elementos más pequeños, capaces de ser resistentes a solicitudes verticales (gravitatorias y de servicio) y horizontales (sísmicas y de vientos). La estructura típica de un muro de corte de madera consta de un entramado de elementos verticales, denominados pies derecho, y horizontales, conocidos como soleras. Por su parte, el revestimiento trabaja como un diafragma y puede ser en madera contrachapada, entablados, OSB, paneles revestidos con mortero, entre otros.

Por su parte, estos muros en su base suelen estar conectados a estructuras de concreto a través de la solera inferior con anclajes Pernados.

Figura 1

Estructura de un muro de corte típico



Nota. Fuente Grupo Andino.

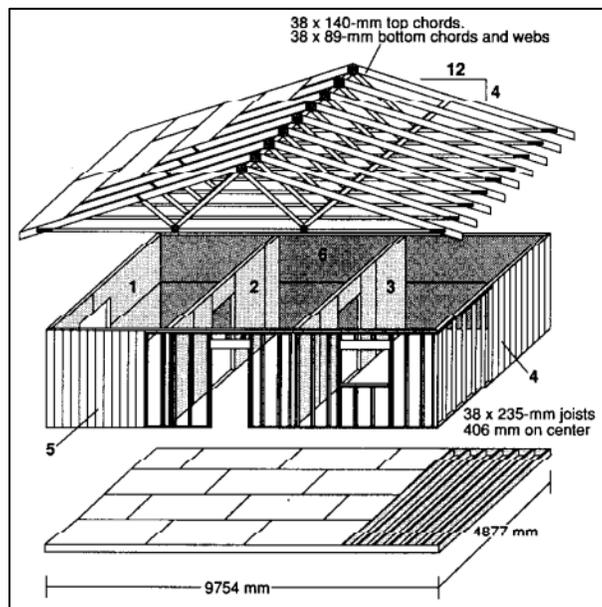
En general, el uso de estos sistemas de construcción está destinado para viviendas familiares o estructuras de uno y dos niveles. En ese orden de ideas y debido a la poca masa que representan, el daño por fuerzas horizontales sísmicas es muy leve, sin embargo, es predominante para cargas

dinámicas producidas por vientos y huracanes. Lo que hace que este sistema sea ideal en zonas propensas a este tipo de fenómeno.

Si bien, se habían estudiado experimentalmente por separado, el primer caso analítico de un modelo integrado de muros de corte fue desarrollado hace poco menos de 40 años por los investigadores (Kasal, Leichti, & Itani, 1984). El artículo se centra en analizar el comportamiento de los componentes del muro de corte cuando son cargados cíclicamente en conjunto y compararlo con un modelo no lineal de elementos finitos. Pese a no considerar cargas dinámicas como viento y sismo, la investigación de Kasal, Leichti & Itani, dio paso a nuevas líneas de estudio al obtener resultados con precisión muy razonable, por lo que a partir de ahí otros investigadores se inspiraron para aportar y mejorar los métodos de diseños de estos sistemas. Ver Figura 2.

Figura 2

Modelo tridimensional de estructura experimental



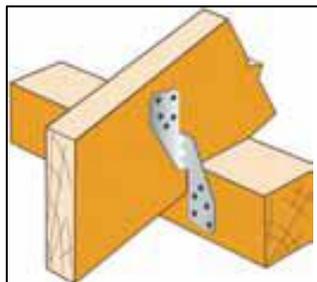
Nota. Fuente (Phillips, 1990).

4. Estado del arte

La Asociación de Ingeniería Sísmica Colombiana (AIS, 2021), adoptó una guía de recomendaciones prácticas para la elaboración de estos sistemas en el marco de la Reconstrucción de la Isla de Providencia y Santa Catalina, con el fin de adaptar las prácticas constructivas de los raizales (quienes elaboraban estos muros ancestralmente) a la normativa vigente y ofrecer un producto resistente a sismos y huracanes. El documento contiene un marco teórico y conceptual, pero no constituye ni enfatiza un método de diseño específico. Entre las sugerencias más relevantes, no incluidas en la NSR-10, está la implementación de platinas de refuerzo comercializadas por Simpson Strong-Tie®, las cuales, eran utilizadas por nativos de la isla antes del huracán. No obstante, la guía se limita a indicar el proceso de instalación proveído por el fabricante, sin plasmar las mejoras de rigideces que se evidencian en campo, en un proceso de diseño.

Figura 3

Platina de cubierta



Nota. Fuente (SIMPSON Strong Tie, 2013).

Una de las más usadas es la platina H2.5A SST, y popularizada posteriormente como “platina anti-huracán”, por el contexto de la reconstrucción, se utilizó como unión entre los montantes de la cubierta y la solera superior del muro. Esta propuesta plantea una solución práctica y mejora la capacidad de trabajo de los montantes sobre todo a solicitudes de vuelco, pese a esto, es una apreciación obtenida en campo sin respaldo analítico.

Los revestimientos exteriores de los muros de corte actúan como un diafragma que rigidiza lateralmente al sistema, por lo que funciona como un elemento estructural y no simplemente como un revestimiento, por lo tanto, es importante considerar el anclaje, disposición y composición de este.

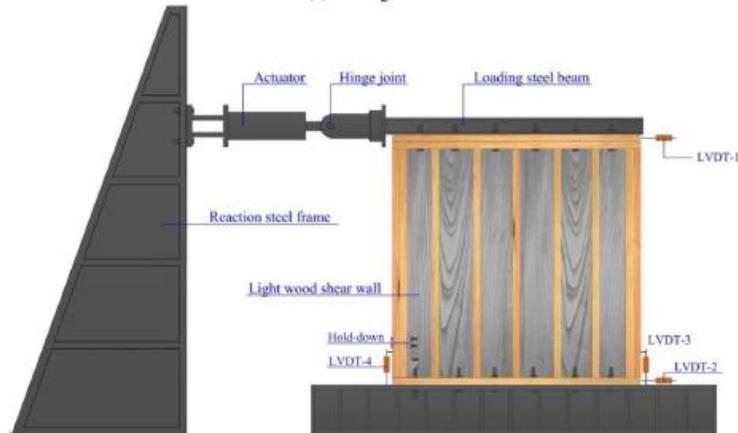
A pesar de no contar con herramientas de diseño profundizadas en la legislación colombiana, la implementación de estos sistemas es muy frecuente en países como Estados Unidos y Canadá debido a su practicidad, prefabricación, velocidad en la construcción y en general por su versatilidad para potenciar soluciones medioambientales. Por lo tanto, se puede recurrir a normativas extranjeras para diseñar muros de corte, como la SPDWS (Special Design Provisions for Wind & Seismic versión 2015) la cual nos entrega una metodología de trabajo para determinar la rigidez y la resistencia del muro en función de la configuración estructural.

Esto fue lo que hizo (González & Vargas, 2019) al proponer y desarrollar un método simplificado para la modelación de edificios de media altura compuestos por muros de corte de madera utilizando el sistema de marco-plataforma. Se fundamentan en la modificación de rigideces en el plano del muro considerando el análisis lineal que cumple con las funciones de Euler-Bernoulli y la teoría de vigas de Timoshenko. Los autores buscan reducir significativamente los tiempos de complejidad computacional que conlleva un análisis no lineal iterativo. Al final de la investigación, desarrollan una tabla de coeficientes de modificación de rigideces según la disposición de los elementos del muro.

En cuanto al material, se han realizado pruebas e investigaciones que permitan obtener mejores respuestas del muro con relación a la rigidez y resistencia final. Se sabe que los revestimientos exteriores de los muros de corte actúan como un diafragma que rigidiza lateralmente al sistema, por lo que funciona como un elemento estructural y no simplemente como un revestimiento, por lo tanto, es importante considerar el anclaje, disposición y composición de este. En un estudio reciente (Kong, y otros, 2020) realizaron experimentos utilizando una serie de revestimiento poco usual; proponen la explotación de un álamo de rápido crecimiento para obtener madera contrachapada de mayor densidad que la convencional (OSB). Se realizaron los dos modelos con cargas monotónicas y se compararon los resultados, obteniendo una relación directamente proporcional entre la densidad del material de revestimiento y la rigidez de este. El autor demostró que con un incremento de 39.8% en la densidad, se obtiene una capacidad portante máxima 37% mayor.

Figura 4

Modelo de instrumentación de las pruebas de cargas



Nota. Fuente (Kong, y otros, 2020).

Como se puede verificar, la variación de los elementos puede contribuir positivamente a la capacidad de carga y rigidez del muro y en general de la estructura. Un estudio de (Bagheri & Doudak, 2020), presenta los resultados de ensayos experimentales y analíticos variando detalles constructivos y complementarios. Los autores tomaron un total de 26 muros a escala real cambiando configuraciones específicas para evaluar los efectos en el comportamiento de estos. Los resultados fueron muy relevantes, encontraron que la flexión del muro se ve afectada por la rotación de los paneles de revestimiento y el deslizamiento de los clavos; la resistencia final del muro es susceptible al cambio del diámetro de los clavos y su espaciamiento, los rigidizadores antivuelcos (hold-down) aumentan la rigidez si se implementan en pies derechos intermedios. Los resultados de laboratorio fueron comparados con modelos matemáticos obteniendo acercamientos razonables.

Los patrones de clavado y el revestimiento de los muros de corte de entramado liviano en madera, parecen tener una relación directa significativa. En una colaboración con FPInnovation se realizó un estudio desarrollando varios modelos de muros, cambiando la configuración de clavado, específicamente aumentando a dos y tres hileras de clavos en lugar de una y descubriendo una alta capacidad de carga y deformación de estos. (Qiang, Zhou, Ni, & Huang, 2022).

5. Resultados y Conclusiones

En Colombia la construcción de estructuras de madera aún es emergente tanto académica como prácticamente; es importante promover el modelado y construcción de sistemas alternativos ligeros y ambientalmente sostenibles. Adicionalmente, es claro que el comportamiento de una estructura de madera tiene una respuesta naturalmente más elástica ante solicitudes accidentales (como terremotos y huracanes) permitiendo desplazamientos más grandes sin alcanzar la falla y proporcionando un diseño más seguro. Además de esta y otras ventajas expuestas en este documento, se ha demostrado que se pueden construir edificaciones de hasta tres (3) niveles en muros de corte de entramado liviano convirtiéndolo en un potencial sistema constructivo de numerosas ventajas.

Tabla 1

Resumen de estado del arte actualizado

CATEGORÍA	CONCLUSIÓN	AUTOR	AÑO
Modelado de elementos finitos	<i>Análisis de muros de corte con cargas cíclicas y modelado en elementos finitos</i>	Kasal, Leichti, & Itani	1984
Métodos simplificados de análisis	<i>Tabla de coeficientes de modificación de rigideces según la disposición del muro.</i>	González & Vargas,	2019
Análisis no lineal	<i>El procedimiento propuesto implica la separación de las deformaciones de flexión y de cortante de la deformación total resultante del análisis de empuje del modelo detallado.</i>	Chu Peng, Ashraf A. El Damatty, Ahmed Musa, Ahmed Hamada	2020
Variación en detalles constructivos	<i>Comportamiento favorable en muros según configuración de elementos constructivos. Modelos a escala real</i>	M.M. Bagheri, G. Doudak,	2020
Variación del material	<i>Evaluación del revestimiento sustituyendo el material contrachapado tradicional por un álamo de rápido crecimiento</i>	Kong, Y., Bing, L., Yaling, S., Conghui, X., Wenjie, H., Mingyuan, Z., . . . Weidong, L	2020
Variación en patrones de clavado	<i>Se demostró que la capacidad del muro aumenta directamente proporcional a las hileras de clavos instaladas.</i>	Qiang, Zhou, Ni, & Huang	2022

La revisión bibliográfica anterior, presenta un claro panorama sobre el estado actual de los avances investigativos que se han desarrollado desde hace 40 años aproximadamente, obteniendo un enriquecido estado del arte que abre campo a nuevas líneas de estudio frente a los muros de corte de entramado liviano en madera y su respuesta ante solicitudes sísmicas y de viento.

Referencias

AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Reglamento Colombiano para el diseño y construcción sismo resistentes. Bogotá.

AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2021). RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE UNO Y DOS PISOS EN MADERA Y BAHAREQUE ENCEMENTADO RESISTENTES A HURACANES, PARA EL ARCHIPIELAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA, COLOMBIA. Bogotá.

American Wood Council. (2015). Special Design Provisions for Wind and Seismic. SDPWS.

Bagheri, M., & Doudak, D. (2020). Structural characteristics of light-frame wood shear walls with various construction detailing. *Engineering Structures*, ELSEIVER.

González, I., & Vargas, J. (2019). MÉTODO SIMPLIFICADO PARA MODELACIÓN DE EDIFICIOS EN MEDIA ALTURA TIPO MARCO-PLATAFORMA DE MADERA UTILIZANDO UN PROGRAMA COMPUTACIONAL DE ELEMENTOS FINITOS. IV Congreso latinoamericano de estructuras de madera.

Junta del acuerdo de Cartagena. (1984). MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO. Lima.

Kasal, B., Leichti, R. J., & Itani, R. Y. (1984). NONLINEAR FINITE-ELEMENT MODEL OF COMPLETE LIGHT-FRAME WOOD STRUCTURES. *Journal of Structural Engineering*.

Kong, Y., Bing, L., Yaling, S., Conghui, X., Wenjie, H., Mingyuan, Z., . . . Weidong, L. (2020). Lateral behavior of wood frame shear walls sheathed with densified plywood under monotonic loading. *Engineering Structures*, ELSEIVER.

Peng, C., Damatty, A. A., Musa, A., & Hamada, A. (2020). Simplified numerical approach for the lateral load analysis of light-frame wood shear wall structures. Elsevier.

Qiang, R., Zhou, L., Ni, C., & Huang, D. (2022). Seismic performance of high-capacity light wood frame shear walls with three rows of nails. Elsevier Ltd.

SIMPSON Strong Tie. (2013). CONEXIONES Y FIJACIONES. Sainte Gemme La Plaine: Artémis, Communication.

Pillips, T. L. (1990). "Load sharing characteristics of three-dimensional wood diaphragms" MS thesis, Washington State Univ. Pullman, Wash.