

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS		Código	FO-GS-15
			VERSIÓN	02
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		FECHA	03/04/2017
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ	REVISÓ		APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): DIEGO ARMANDO APELLIDOS: MEDINA SÁNCHEZ

NOMBRE(S): ÁLVARO LUIS APELLIDOS: ÁLVAREZ PRADO

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JORGE FERNANDO APELLIDOS: MÁRQUEZ PEÑARANDA

CO-DIRECTOR:

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES SISMO RESISTENTES

RESUMEN

Los estudios consultados para el desarrollo de la presente monografía permitieron analizar la forma en que funciona la madera desde el punto de vista de la ingeniería estructural, especialmente en edificios. Como objetivo principal se propuso "Realizar una monografía acerca del uso estructural de la madera en edificaciones sismo resistentes". El método utilizado fue exploratorio. Se realizaron consultadas en diferentes bases de datos, como fue biblioteca virtual de la Universidad entre otros. De igual forma, los resultados fueron desarrollados mediante el método descriptivo. Así mismo se identificaron las propiedades de la madera y sus características, aspectos importantes que se deben tener en cuenta al momento de diseñar estructuras con dicho material natural.

PALABRAS CLAVE: Diseño estructural, ingeniería civil, madera, edificaciones, sismos.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 117 PLANOS: ILUSTRACIONES: CD ROOM: 1

Copia No Controlada

LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES SISMO
RESISTENTES

DIEGO ARMANDO MEDINA SÁNCHEZ
ÁLVARO LUIS ÁLVAREZ PRADO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES SISMO
RESISTENTES

DIEGO ARMANDO MEDINA SÁNCHEZ

ÁLVARO LUIS ÁLVAREZ PRADO

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener al título de:

Especialista en Estructuras

Director:

JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA

IC Sp MSc PhD

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DE 2021 HORA: 04:00 p.m.
LUGAR: SUSTENTACIÓN VIRTUAL POR MEDIO DE TIC
PLAN DE ESTUDIOS: ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO: "LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES SISMO RESISTENTES".

JURADOS: ING. JOSÉ RICARDO PINEDA RODRÍGUEZ
ING. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO
ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA

DIRECTOR: INGENIERO JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA.

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	CÓDIGO	CALIFICACIÓN
		NÚMERO LETRA
DIEGO ARMANDO MEDINA SANCHEZ	1010091	4.4 CUATRO, CUATRO

A P R O B A D A


ING. JOSÉ RICARDO PINEDA
RODRÍGUEZ


ING. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO


ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA


Vo. Bo. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO
Coordinador Comité Curricular
Especialización en Estructuras

María del C.

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DE 2021 HORA: 04:00 p.m.

LUGAR: SUSTENTACIÓN VIRTUAL POR MEDIO DE TIC

PLAN DE ESTUDIOS: ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

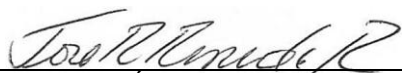
TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO: "LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES SISMO RESISTENTES".

JURADOS: ING. JOSÉ RICARDO PINEDA RODRÍGUEZ
ING. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO
ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA

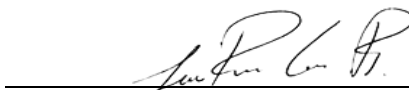
DIRECTOR: INGENIERO JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA.

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	CÓDIGO	CALIFICACIÓN
		NÚMERO LETRA
ALVARO LUIS ALVAREZ PRADO	1010084	4.4 CUATRO, CUATRO

APROBADA



ING. JOSÉ RICARDO PINEDA
RODRÍGUEZ



ING. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO



ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA



Vo. Bo. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO
Coordinador Comité Curricular
Especialización en Estructuras

María del C.



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta,

Señores
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS
Ciudad

Cordial saludo:

Nosotros, Diego Armando Medina Sánchez y Álvaro Luis Álvarez Prado, identificado(s) con la C.C. N° 1.093.767.062 y 1.094.573.744, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado **LA MATERIA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES SISMO RESISTENTES** presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de **ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS**; autorizo(amos) a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que **“los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores”**, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

DIEGO ARMANDO MEDINA SANCHEZ
C.C. 1093767062

ALVARO LUIS ALVAREZ PRADO
C.C. 1094573744

Contenido

	pág.
Introducción	13
1. Problema	14
1.1 Título	14
1.2 Planteamiento del Problema	14
1.3 Formulación del Problema	15
1.4 Objetivos	15
1.4.1 Objetivo general	15
1.4.2 Objetivos específicos	15
1.5 Justificación	16
1.6 Alcance y Limitaciones	16
1.6.1 Alcance	16
1.6.2 Limitaciones	16
1.7 Delimitaciones	17
1.7.1 Delimitación espacial	17
1.7.2 Delimitación temporal	17
1.7.3 Delimitación conceptual	17
2. Marco Referencial	18
2.1 Estado del Arte	18
2.2 Marco Teórico	43
2.3 Marco Conceptual	46
2.4 Marco Legal	49
3. Diseño Metodológico	51

3.1 Tipo de Investigación	51
3.2 Población y Muestra	51
3.2.1 Población	51
3.2.2 Muestra	51
3.3 Fases y Actividades Específicas del Proyecto	51
4. Resultados	53
4.1 Revisión Bibliográfica del Estado del Arte del Uso de la Madera como Material Estructural en Edificaciones Sismo Resistentes	53
4.2 Evolución del Uso de la Madera en Construcción de Edificaciones Sismo Resistentes	60
4.3 Características y Materiales derivados de la Madera Cuando se usa Como Material Estructural	70
4.3.1 Aspectos importantes de la madera	70
4.3.2 Características y materiales derivados de la madera usada en diseños estructurales	74
4.4 Metodologías de Diseño de Estructuras de Madera y Tratamiento de Material Según su Uso, Normatividad y Control de Calidad	84
4.4.1 Método de diseño de esfuerzo permitido	86
4.4.2 Método diseño de factor de carga y resistencia (LRFD)	95
5. Conclusiones	105
Referencias Bibliográficas	107

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. Proyectos a nivel mundial donde la madera ha sido usada dentro del diseño estructural en diseño de edificaciones	55
Tabla 2. Materiales y características de la madera y sus aplicaciones estructurales	74
Tabla 3. Aplicabilidad de los factores de ajuste para la madera	88
Tabla 4. Aplicabilidad de los factores de ajuste para madera laminada encolada	89
Tabla 5. Factores de reducción de fuerza	89
Tabla 6. Factores de ajuste	91
Tabla 7. Factores de duración de carga	92
Tabla 8. Factor de humedad CM para madera aserrada y laminada	93
Tabla 9. Factor de tamaño CF para madera aserrada	94
Tabla 10. Factor de incisión	95
Tabla 11. Relaciones de gravedad específica de la resistencia de la espiga	98

Lista de Figuras

	pág.
Figura 1. Procesos constructivos de la madera	71
Figura 2. Sección transversal del tronco de un árbol	72
Figura 3. Estructuras laminadas encoladas	75
Figura 4. Madera contrachapada	78

Resumen

La madera se ha utilizado para reforzar las estructuras de edificaciones sismo resistentes. Los estudios consultados para el desarrollo de la presente monografía permitieron analizar la forma en que funciona la madera desde el punto de vista de la ingeniería estructural, especialmente en edificios. Como objetivo principal se propuso “Realizar una monografía acerca del uso estructural de la madera en edificaciones sismo resistentes”, de esta forma analizar la evolución del uso de la madera en diseños estructurales. El método utilizado fue exploratorio, permitió identificar el problema dentro del contexto internacional, observándose la relevancia del tema, para el apartado de los resultados se aplicó la revisión documental, se realizaron consultadas en diferentes bases de datos, como fue biblioteca virtual de la Universidad, Google Scholar, buscador de Google, entre otros. De igual forma, los resultados fueron desarrollados mediante el método descriptivo, por medio del cual se describen cada uno de los objetivos propuestos conforme a los alcances de la investigación. Los resultados, demostraron el papel de la madera en la ingeniería civil, así como el uso que se le ha dado en algunos países como Nueva Zelanda, Canadá, Estados Unidos, Japón e Italia, así mismo se identificaron las propiedades de la madera y sus características, aspectos importantes que se deben tener en cuenta al momento de diseñar estructuras con dicho material natural.

Abstract

Wood has been used to reinforce earthquake resistant building structures. The studies consulted for the development of this monograph allowed us to analyze the way in which wood works from the point of view of structural engineering, especially in buildings. The main objective was to “Carry out a monograph about the structural use of wood in earthquake resistant buildings”, in this way to analyze the evolution of the use of wood in structural designs. The method used was exploratory, it allowed to identify the problem within the international context, observing the relevance of the topic, for the results section, the documentary review was applied, consultations were made in different databases, such as the virtual library of the University, Google scholar, Google search engine, among others. Similarly, the results were developed using the descriptive method, through which each of the proposed objectives are described according to the scope of the research. The results demonstrated the role of wood in civil engineering, as well as its use in some countries such as New Zealand, Canada, the United States, Japan and Italy, as well as the properties of wood and its characteristics., important aspects that must be taken into account when designing structures with said natural material.

Introducción

Una estructura debe diseñarse para resistir todas las cargas que se espera que actúen sobre la estructura durante su vida útil. Bajo los efectos de las cargas aplicadas esperadas, la estructura debe permanecer intacta y funcionar satisfactoriamente. Además, una estructura no debe requerir una cantidad excesiva de recursos para construir. Por lo tanto, el diseño de una estructura es un equilibrio entre la confiabilidad necesaria y la economía razonable.

Los productos de madera se utilizan con frecuencia para proporcionar el principal medio de soporte estructural de los edificios. La economía y solidez de la construcción se pueden lograr mediante el uso de productos de madera como miembros para aplicaciones estructurales como vigas, montantes de pared, vigas y cerchas. Además, los productos de revestimiento de madera desempeñan un papel estructural al transferir cargas de viento, nieve, ocupantes y contenido a los elementos estructurales principales, así como la función de cerramiento del edificio. La madera se puede utilizar en muchas formas estructurales, como viviendas de estructura liviana y edificios pequeños que utilizan miembros repetitivos de pequeñas dimensiones o dentro de sistemas de estructura estructural más grandes y pesados, como la construcción de madera en masa, que a menudo se utiliza para proyectos comerciales, institucionales o industriales.

1. Problema

1.1 Título

LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES SISMO RESISTENTES.

1.2 Planteamiento del Problema

A lo largo de la historia humana, la madera ha sido un importante material de construcción desde el momento en que se comenzó a edificar refugios para su supervivencia y para el transporte en la construcción de carruajes y embarcaciones. En muchos países del mundo, la madera es uno de los materiales dominantes en la construcción de viviendas lo que ha generado la creación de normativas y metodologías para el correcto uso del material. La madera es usualmente utilizada como un material de soporte, especialmente en la construcción de cubiertas, aunque también es muy utilizada como un material arquitectónico para el revestimiento de muros y pisos, y para aberturas tales como puertas y ventanas, además de su gran uso en los procesos constructivos tales como lo son para la elaboración de andamios, formaletas y estructuras temporales.

Por otro lado, la madera no es solo usada como un material en su estado natural, sino a que a través del tiempo han surgido otros materiales derivados de su manufacturación lo que ha ido popularizado el uso del material en estructuras de grandes luces, muchas de ellas con un gran impacto en la arquitectura. Sin embargo, en Colombia la madera es un material poco utilizado como estructural, ya que en el país las construcciones tienden a ser diseñadas de concreto, acero, o una combinación de ambos, y la madera solo se utiliza en el proceso constructivo y como un

material arquitectónico.

Por lo anterior, con el presente proyecto se quiere dar a conocer el uso de la madera como un material de construcción estructural, mostrando la historia detrás del uso del material, las metodologías y normativas a nivel mundial, además de presentar cual es uso correcto del material para la construcción de edificaciones sismo resistentes.

1.3 Formulación del Problema

¿Cuáles aspectos deben ser tenidos en cuenta para el diseño de estructuras utilizando la madera como material de construcción sismorresistente?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general. Realizar una monografía acerca del uso estructural de la madera en edificaciones sismo resistente.

1.4.2 Objetivos específicos. Los objetivos específicos se muestran a continuación:

Hacer una revisión bibliográfica del estado del arte del uso de la madera como material estructural en edificaciones sismo resistente.

Describir la evolución del uso de la madera en construcción de edificaciones sismo resistente.

Identificar las características y materiales derivados de la madera cuando se usa como material estructural.

Presentar metodologías de diseño de estructuras de madera y tratamiento de material según su uso, normatividad y control de calidad.

1.5 Justificación

En Colombia, el diseño de estructuras se rige bajo el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, la cual fue creada mediante la Ley 400 de 1997 por la comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes. En el título G se especifican los requisitos de diseño estructural para edificaciones de madera para que tengan un nivel de seguridad comparable a los de edificaciones de otros materiales que cumplan con los requerimientos del Reglamento.

Por lo anterior, se hace necesario presentar un documento que muestre información relacionada con las estructuras de madera, partiendo de la historia que conlleva al uso del material hasta la metodología, normativa y control de calidad requeridos para el diseño y construcción de edificaciones de madera sismo resistentes.

1.6 Alcance y Limitaciones

1.6.1 Alcance. El presente documento es una obra descriptiva con la que se pretende hacer una revisión bibliográfica exhaustiva del uso de la madera como material estructural en edificaciones sismo resistente. La ventana de tiempo de esa revisión se delimita en lo reportado durante los últimos 100 años. Se propone realizar una reseña histórica acerca del uso del material, presentar la metodología de diseño regida bajo los requisitos de las diferentes normativas nacionales e internacionales, además de describir cual es el control de calidad que se debe tener en cuenta para la construcción de estructuras de madera

1.6.2 Limitaciones. En Colombia se carece de información relacionada con el diseño estructural de edificaciones de madera, por lo que además del Reglamento de construcción sismo

resistente NRS-10, se requiere de documentos a nivel mundial para poder general el presente proyecto.

1.7 Delimitaciones

1.7.1 Delimitación espacial. El proyecto se realizará en la ciudad de San José de Cúcuta, Colombia, específicamente en la Universidad Francisco de Paula Santander. Sin embargo, la revisión se hará usando bibliografía de alcance nacional y mundial.

1.7.2 Delimitación temporal. El proyecto se desarrollará en tiempo aproximado de cuatro (4) meses.

1.7.3 Delimitación conceptual. Dentro de los conceptos necesarios para el desarrollo del proyecto se tiene: Estructura de madera, historia del uso de la madera en la construcción, metodología de diseño estructural con madera, normatividad y control de calidad de la madera según su uso.

2. Marco Referencial

2.1 Estado del Arte

Se ha encontrado una amplia cantidad de referencias bibliográficas, las cuales están relacionadas con el uso de la madera en el sector de la construcción, a continuación, se presentará el aporte científico que dará cada uno de los documentos hallados en la elaboración del presente proyecto.

Niglio & Valencia (2014). Reducción del riesgo sísmico para el patrimonio arquitectónico. Una comparación entre experiencias de Colombia y Japón. El artículo Presenta una investigación acerca de las leyes existentes para la reducción de riesgo del patrimonio arquitectónico, para lo cual se hace una comparación entre Colombia y Japón. Este documento presenta, además, un resumen de la evolución de la ingeniería sísmica en ambos países, las características de algunas de las edificaciones ancestrales típicas y los esfuerzos para la protección de construcciones que, por las técnicas utilizadas o su difusión en el territorio, son consideradas íconos de los paisajes en estos países.

En Japón y en Colombia existen leyes que tienen como objetivo primordial la protección del patrimonio cultural de tipo arquitectónico; sin embargo, en Japón existe un esfuerzo adicional no solo dirigido a la protección de las construcciones ancestrales existentes sino también en la preservación de las técnicas antiguas para la construcción de las mismas. Algunas de estas construcciones tradicionales en ambos países, ya sea de manera planificada o por coincidencias afortunadas, han podido resistir el ataque de los sismos. Otras construcciones, por el contrario, a pesar de su significación regional y belleza, desde su concepción original no son aptas para resistir terremotos debido a la vulnerabilidad intrínseca a la misma (Niglio & Valencia, 2014).

Tique (2016). Diseño de Estructuras de madera según la NSR-10. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomas. Este documento es de carácter introductorio al diseño de estructuras de madera, tiene un contenido teórico y técnico. En el contenido teórico se muestra la historia del uso de las estructuras de madera desde tiempos muy remotos y hasta la actualidad, también trata temas que consideramos muy importantes como las aplicaciones estructurales de la madera, tratamiento y conservación de la madera, uniones, nociones básicas sobre armaduras, entre otros.

El contenido técnico se basa en la norma NSR10, título G, donde se encuentran muchos parámetros importantes de diseño para estructuras de madera, así como también propiedades mecánicas de la madera (Tique, 2016).

El documento contiene un marco investigativo global, por esta razón investigaremos de fuentes nacionales e internacionales. Lo que se quiere es mostrar a las personas que existen nuevas alternativas de construcción con elementos estructurales que cuentan con muchas ventajas y que nos permiten llevar una mejor calidad de vida (Tique, 2016).

Ortiz & Pinto (s.f.). Construcción sismo resistente sostenible adaptada al cambio climático. Este artículo presenta diferentes técnicas de construcción sostenible con el fin de identificar técnicas que permitan la construcción de viviendas sismo resistentes, sostenibles y que se puedan adaptar al cambio climático para adaptarse al cambio climático. La investigación consistió en realizar una recopilación de información que permitiera reconocer alternativas constructivas que facilitaran la construcción de viviendas adaptadas al cambio climático, sostenibles y que además fuesen sismorresistentes, definiendo cual sería la más apropiada para cumplir con las anteriores exigencias. Los resultados permitieron reconocer la técnica del bahareque en cementado como la más apropiada gracias a sus propiedades como lo son estabilidad, ligereza y flexibilidad en

cuestión de sismo resistencia, así como su aprovechamiento energético y benéficos al medio ambiente en el caso de la adaptación al cambio climático además de ser económico y de rápida construcción.

Parra, (2018). Estudio de viabilidad de un nuevo sistema estructural madera-acero para la construcción de edificio sismo resistente. El presente documento consiste en el análisis de tres edificios de madera que se encuentran en peligro sísmico y presenta empujes laterales. Para esto, se plantea un nuevo sistema estructural mixto: madera-acero que está compuesto de pórticos y una pletina en L o “cinturón” que rodea el forjado, arriostrado al edificio de madera por medio de un sistema de cableado. Con la finalidad de encontrar una mejora estructural y refuerzo tanto para edificios nuevos como existentes, se propone independizar los sistemas, de esta manera, la madera resiste cargas propias del edificio, mientras que el acero disipa las cargas de los esfuerzos laterales (sismo, viento), lo anterior ayudará a que la edificación pueda resistir un sismo sin causar daños graves a la estructura, haciendo que los disipadores actúen antes de cualquier falla en la madera.

Con ayuda de softwares como Wineva y SAP2000, se calcula las tensiones o esfuerzos y desplazamientos que tendrán los pórticos, también se realiza un predimensionamiento del “cinturón”. Se proporciona en este documento, datos de las edificaciones de casos de estudios que fueron obtenidas de los proyectos NESSWOOD, que permitieron la simulación, análisis y procesos de cálculo (Parra, 2018).

Pacini (2019). Estructuras de madera, diseño, cálculo y construcción, Bogotá: Ediciones de la U. Este es un libro en el cual se describen los usos de la madera, partiendo de una reseña histórica en el cual se relata una reseña histórica por medio de la cual evolucionó el uso de la madera en la

construcción. El objetivo del libro es mostrar la historia de la construcción en madera y su evolución como el de obtener enseñanzas aplicables a la moderna construcción de madera.

En el primer capítulo se menciona la primera basílica romana, la cual fue construida por el Censor Cato circa 180 A.C. con el esquema de un hall central rectangular de grandes dimensiones, dividido por razones técnicas en tres naves longitudinales, la cual tiene pórticos y cubiertas de madera. Además, durante el periodo románico entre los siglos IX y XII D.C. el techo de madera se utilizó para cubrir la bóveda de piedra que paso a ser el elemento central del interior de la nave.

Uno de los principales logros es el desarrollo del entramado de madera portante, conformado por una red de soportes de madera interconectados, formando el esqueleto de la construcción. Lo anterior, se considera como la mayor contribución China al desarrollo mundial de la tecnología de las estructuras.

Palaia (2000). Las armaduras de madera para cubiertas en la Comunidad Valenciana. El artículo presenta un trabajo en el cual realizaron la identificación de edificio que tienen estructuras de madera para soportar los faldones de las cubiertas. Para lo anterior, se presentan varios casos de estudio, los cuales son: la cubierta de la iglesia Archiprestal de Ayora, donde se presenta una reseña histórica de la construcción de la iglesia por medio de hipótesis según un análisis realizado en 1989, la hipótesis de la construcción se plantea en dos etapas, la primera etapa consistió en la construcción del ábside y el primer tramo de la nave, pudiendo durar su construcción desde 1508 a 1577, la segunda etapa transcurre entre 1595 y 1628, construyéndose el resto de la nave y la torre campanario, en esta etapa se construyó la cubierta de la misma (Palaia, 2000).

Otro caso de estudio es la Colegiata de Xátiva, en el cual se hace una descripción acerca de la armadura de madera que se tienen en la edificación, lo cual es la siguiente: La Colegiata de Xátiva, tiene una dirección Sudoeste-Nordeste, con un largo total de 86 m, mientras que el largo del crucero es de 51.5 m y la luz de la nave 1731. En junio de 1753 el cantero J, Cuenca daba por terminada la fachada Norte y un mes más tarde se inauguraba el templo que llegaba sólo al crucero, desde antes de 1748 el director de las Obras era Fr. Alberto Pina, quien construyó las dos capillas centrales de 16 m. El ancho total interior es de 33 m y el exterior, de 44 m. El ancho del crucero es de 13.80 m. Aunque se desconoce la fecha exacta de la construcción de la cubierta de la nave, suponemos, por los datos que se conocen, pienso que entre 1748 y 1769 se pudo haber construido la cubierta de los dos primeros tramos de la nave, mientras que los dos últimos fueron cubiertos hacia 1888 (Palaia, 2000).

Aguilar Pozzer & Guzowski (2011) *Materiales y materias primas*, capítulo 3: madera. Este es un libro que presenta conceptos y fundamentación teórica necesaria acerca de la materia prima de la madera, es decir, los árboles, presentando una reseña histórica acerca de la vida del árbol, los bosques, el ahorro energético debido a que no es necesaria la utilización de energía para la producción de materia prima, ya que la madera es un material de origen natural que solo requiere de energía solar, además de presentar información acerca del crecimiento de los árboles y las partes del mismo, dentro de los que se encuentra la corteza, la madera y la médula. También el libro da información acerca de la composición y las propiedades del material, profundizando en las propiedades organolépticas, físico-mecánicas, térmicas, eléctricas y acústicas, así como presentar cuales son los aspectos tecnológicos que conlleva el proceso de la extracción de la madera para sus diferentes usos.

Queipo, González, Llinares, Villagrà & Gallego (2010) Conceptos básicos de la construcción con madera, documentos de aplicación del CTE, Madrid: Construir con Madera (CcM). El presente libro proporciona el conocimiento básico sobre la madera como material de construcción, así como del comportamiento, en relación con las distintas prestaciones exigidas en el Código Técnico de la Edificación (CTE), de diferentes sistemas constructivos resueltos con productos de madera o derivados. El documento se configura como herramienta en fase de proyecto para la ayuda en el diseño, elección del material, predimensionado de elementos y resolución de los detalles constructivos básicos que aseguren las prestaciones establecidas en el CTE.

La madera ha sido un material tradicionalmente empleado en la edificación. Los antiguos sistemas constructivos con madera han ido evolucionando a lo largo de los siglos de forma distinta en función de las condiciones climáticas y sociales de cada zona. Por dicho motivo pueden apreciarse desde sistemas con madera muy simples a sistemas altamente sofisticados y exigentes (Queipo et al., 2010).

El libro presenta las características de la madera como material de construcción, dentro de lo cual se debe tener en cuenta que: Requiere poco gasto energético para su fabricación, transporte y puesta en obra; Es ligera y con una buena relación resistencia/peso; Su comportamiento ante el fuego es predecible; Con el diseño y ejecución adecuados las soluciones constructivas con madera son muy durables, incluso en ambientes con altas concentraciones de productos ácidos y soluciones de sales de ácidos; Es fácilmente manejable y mecanizable; Permite realizar montajes de forma rápida, limpia y en ausencia de agua (Queipo et al., 2010).

Montenegro (2013). Clasificación de madera estructural de gran escuadría de Pino Silvestre, mediante métodos no destructivos. En esta tesis doctoral se estudian algunas de las técnicas no destructivas para la clasificación de madera de pino silvestre. Estimación del módulo de elasticidad y de la resistencia por medio de técnicas basadas en la propagación de una onda a través de la madera: tales como pulso de onda ultrasónico o de impacto en dirección longitudinal, o en vibración longitudinal y transversal.

Acuña, Basterra, Casado, López, Ramón, Relea, et al., (2011). En este trabajo se aporta una metodología para realizar el análisis de los perfiles resisto gráficos obtenidos de piezas de madera y poder con ello obtener con precisión determinados datos de las mismas. En este trabajo se utiliza el resistógrafo como técnica pseudo-no destructiva para evaluar el estado de conservación de elementos estructurales de madera. El resistógrafo es un equipo que permite realizar un taladro en la madera, utilizando una broca extremadamente fina, registrando la resistencia que presenta el material a la penetración de la broca a velocidad constante, mediante un potenciómetro conectado al motor eléctrico. Se parte de la hipótesis de que dicha resistencia se puede relacionar con la densidad de la pieza, en el supuesto de que, a mayor densidad, mayor será la oposición al paso de la aguja, o bien, y a igualdad de otras condiciones, cuanto menor sea la resistencia al avance, mayor será el estado de degradación de la pieza. El equipo presenta la ventaja de ser portátil, presentándose, así como una herramienta especialmente adecuada para la inspección de estructuras en servicio.

Lazraka, Kabouchi, Hammi, Famiri & Ziani (2019) Structural study of maritime pine wood and recycled high-density polyethylene (HDPEr) plastic composite using Infrared-ATR spectroscopy, X-ray diffraction. En este trabajo, se prepararon compuestos de madera y polímero a partir de madera de pino y polietileno reciclado de alta densidad, con el fin de obtener una idea

del efecto de las relaciones cambiantes de la madera y el polímero dentro de las muestras elaboradas, para lo cual, un conjunto de compuestos se sometió a análisis comparativo por difracción de rayos X y espectroscopía de infrarrojos, para lo que las investigaciones estructurales revelaron que se produjo una mezcla significativa con harina de madera, la microscopía electrónica de barrido se realizó comparativamente sobre las diferentes composiciones de polímeros de madera. El análisis estructural de los compuestos de madera se correlacionó con el estudio de análisis de superficie y se realizaron mediciones de ángulo de contacto para evaluar el rendimiento de los compuestos de madera. Además, la interacción entre la madera y el polietileno reciclado fue respaldada por la prueba de ángulo de contacto de agua estática que muestra que el ángulo de contacto entre el agua y el polietileno reciclado de alta densidad disminuye cuando el porcentaje en peso de harina de madera es mayor que el del polímero (Lazraka et al., 2019).

La madera como material natural renovable de origen biológico tiene varias ventajas en muchas aplicaciones que van desde materiales estructurales y de construcción y muebles y transporte hasta materias primas para la producción de energía (Li, et al., 2010), debido a sus propiedades mecánicas y físicas muy satisfactorias, su estructura microscópica única, su abundancia, su relativa facilidad de trabajo y buen efecto visual (Lazraka et al., 2019).

Friedrich (2019). Effects from natural weathering on long-term structural performance of wood-polymer composite cladding in the building envelope. Este artículo presenta el uso estructural de compuestos de madera y polímeros en fachadas, lo cual no se ha investigado completamente, lo que puede atribuirse a la falta de experiencia práctica, en este estudio, se probaron tres compuestos extruidos diferentes en Europa Central después de un año de meteorización natural. Su pérdida de resistencia se cuantificó utilizando la resistencia a la flexión

y la resistencia a la tracción de los tornillos colocados de manera diferente en las hojas de prueba. Se descubrió que la orientación de la fibra afecta la resistencia de la misma manera que la resistencia a la flexión. En lo que respecta al envejecimiento, la resistencia a la flexión se degradó mucho más por la radiación global que la resistencia a la tracción del sujetador. Por lo tanto, se puede argumentar que las características de flexión por sí solas no son un indicador realista de la durabilidad estructural de una fachada de compuestos de madera (Friedrich, 2019).

El objetivo de este estudio es investigar si la resistencia a la flexión o la resistencia al arrastre es el indicador más realista de la durabilidad de una fachada de compuestos de madera, para este propósito, se instalaron muestras de tres formulaciones compuestas representativas con contenidos de fibra similares pero diferentes acabados superficiales como tejas y expuestas al clima de Europa Central durante un año que contenían radiación global y ciclos de congelación-descongelación. Posteriormente, se generaron valores de fractura y se compararon con los de muestras cero. Con respecto al pull-through, el efecto de retardo de envejecimiento de las zonas de borde superpuestas, la distancia del borde, la geometría del agujero y la dirección de procesamiento de la extrusión fueron de interés (Friedrich, 2019).

Se descubrió que la orientación de la fibra en todas las formulaciones compuestas probadas tenía un fuerte efecto en la resistencia a la flexión, con los valores de la carga transversal siendo la mitad de grandes que los de la dirección longitudinal, para estresar el material por igual, los paneles de fachada de compuestos de madera deben tener diferentes distancias de fijación en ambas direcciones. En contraste con la flexión, la resistencia a la tracción en ningún caso fue influenciada negativamente por las condiciones climáticas, esto se debe al hecho de que un avance en las fijaciones tensiona el revestimiento en la parte posterior, mientras que la flexión hacia afuera influye en las capas cercanas a la superficie de la fachada. Por razones prácticas, se

recomienda concentrarse más en el mecanismo de fijación. En términos de acabado superficial, la aplicación sin cepillado y la capa superior han demostrado ser medidas efectivas para mejorar la durabilidad, esto se atribuye al hecho de que la degradación de la unión interfacial se retrasa por los efectos secundarios de cristalización (Friedrich, 2019).

Para finalizar, el autor recomienda más estudios para ampliar el conocimiento sobre la mecánica de las fijaciones en los compuestos de madera y su simulación numérica con software de elementos finitos para apoyar el proceso de diseño de los ingenieros de fachadas (Friedrich, 2019).

Popescu, Navi, Placencia & Popescu (2018). Structural changes of wood during hydro-thermal and thermal treatments evaluated through NIR spectroscopy and principal component analysis. Este artículo presenta el uso de la madera sometida a diferentes condiciones de tratamiento térmico e hidrotermal variando la temperatura, la humedad relativa y el período de exposición. Por lo cual, se observó modificaciones en todos los componentes de la madera, modificaciones que dependían de la temperatura, la cantidad de humedad relativa y también el tiempo de tratamiento, lo que evidenció variaciones para las muestras tratadas a temperaturas más altas y por períodos largos, el aumento en la cantidad de vapores de agua en el medio indujo una tasa reducida de cadenas laterales y reacciones de condensación en la estructura de madera.

Debido a sus ventajas, la madera se usa en muchas aplicaciones diferentes, pero debido a su estructura y dependiendo de las condiciones ambientales (humedad, temperatura y agentes biológicos), puede no ser un material muy duradero. La madera se compone principalmente de tres componentes principales, como la celulosa, lignina y hemicelulosas (Popescu et al., 2018).

Se han realizado diferentes intentos para mejorar la durabilidad de la madera y sus propiedades mecánicas y físicas, mediante tratamientos de modificación térmica, hidrotermal y química. Se conoce que el tratamiento de modificación térmica de la madera puede mejorar algunas de sus propiedades, tales como: estabilidad dimensional, durabilidad e hidrofobicidad, la modificación térmica simple o la modificación hidrotérmica puede usarse para simular el envejecimiento de la madera en condiciones aceleradas con el fin de identificar los mecanismos de degradación que puede tener lugar durante el proceso de degradación natural (Popescu et al., 2018).

En la literatura se considera que la celulosa y la lignina no se ven afectadas en absoluto por el tratamiento térmico, se evidenció una modificación en la estructura de la celulosa que afectó aún más a las regiones semicristalinas y cristalinas. Al mismo tiempo, se observaron reacciones de desmetoxilación y condensación en la estructura de lignina durante el tratamiento térmico e hidrotérmico (Popescu et al., 2018).

Halloran & Abdullahi (2017). Structural Panels MR O'Halloran. El panel de uso estructural se utiliza para identificar una clase de productos de panel a base de madera utilitarios utilizados para la construcción y aplicaciones industriales. El mercado principal para los productos de paneles de madera estructural es la industria de la construcción de marcos ligeros. Los productos de paneles se envían a proveedores y contratistas para el montaje in situ de estructuras residenciales y comerciales. Estos paneles de madera se fabrican y distribuyen en tamaños y calidades estándar.

Los productos de paneles estructurales incluyen madera contrachapada, tableros de fibra orientada. La madera contrachapada es uno de los productos de "madera de ingeniería" más

antiguos y tiene una larga historia de aplicación en una amplia gama de usos. En general, los productos de madera de ingeniería se desarrollan para resolver las limitaciones de la madera natural; que cubre paneles a base de madera, maderas compuestas estructurales entre otros (Halloran & Abdullahi, 2017).

Es necesario evaluar el desempeño estructural de estos paneles para prevenir o evitar fallas en el sitio. Mosallam (2016) investigó la falla de la estructura de madera y propuso la reparación de vigas de madera parcialmente dañadas a través del fuego. Del mismo modo, Li, Liu, Wang, Wu, Yu & Li (2016) estudiaron el comportamiento de flexión estática y de fatiga para un panel estructural a base de madera que tiene una técnica de construcción de ranura y pestaña. Por lo tanto, este artículo presenta paneles estructurales de madera contrachapada y no chapada que se centran en su rendimiento estándar, propiedades físicas y propiedades mecánicas (Halloran & Abdullahi, 2017).

La madera contrachapada comprende varias capas delgadas de madera llamadas chapas, que están unidas por un adhesivo. Cada capa se coloca de modo que su dirección de grano esté en ángulo recto con la de la capa adyacente. Esta laminación cruzada le da al contrachapado sus características y lo convierte en un material de construcción versátil. La madera contrachapada se ha utilizado durante siglos; se ha encontrado en tumbas egipcias y estaba en uso durante el apogeo de las antiguas civilizaciones griegas y romanas (Halloran & Abdullahi, 2017).

La Norma de producto para madera contrachapada incluye disposiciones para la calificación de rendimiento también. El estándar para la construcción y el contrachapado industrial incluye más de 70 especies de madera, que se separan en cinco grupos en función de sus propiedades mecánicas. Esta agrupación da como resultado menos calificaciones y un procedimiento más

simple. Muchas de las propiedades físicas de la madera contrachapada se ven afectadas por la cantidad de humedad presente en la madera. La madera es un material higroscópico, que casi siempre contiene una cierta cantidad de agua. Cuando la madera contrachapada se expone a una humedad relativa constante, eventualmente alcanzará un contenido de humedad de equilibrio (Halloran & Abdullahi, 2017).

Gan, Lingfeng, Zhanji, Yong, Ligu (2019) Structural behaviors of bolted connections using laminated bamboo and steel plates. El objetivo de este artículo es investigar las propiedades mecánicas del bambú laminado y el comportamiento de las conexiones atornilladas con bambú laminado y placas de acero. La búsqueda de materiales más sostenibles para reducir el impacto del carbono en nuestro medio ambiente ha puesto al bambú en el mapa como un material de construcción alternativo, especialmente en regiones como China, el sur de Asia y América del Sur, donde el bambú es abundante. La aplicación de una conexión atornillada compuesta utilizando placas de bambú y acero laminadas en una estructura de silo de bambú laminado requiere una investigación detallada de su comportamiento. Se diseñó y empleó un programa experimental para realizar un conjunto de pruebas de muestras en conexiones de un solo tornillo y de múltiples tornillos utilizando bambú laminado y placas de acero. Se observaron los impactos de la distancia al borde, el tamaño del perno y el grosor de las tiras de bambú laminadas para las conexiones de un solo perno (Tanga, Yin, Li, Li, & You, 2019).

Los resultados de la prueba para conexiones de pernos múltiples revelaron que el espacio influyó en la capacidad de manera similar a la distancia al borde en conexiones de un solo perno y la configuración escalonada de los pernos mejoró la capacidad de la conexión de pernos múltiples. Las propiedades del material del bambú laminado utilizado en este estudio se midieron y registraron cuidadosamente para proporcionar una base de datos de primera mano sobre los

parámetros de las relaciones constitutivas y el criterio de falla de Hill de dicho material. Los parámetros de material medidos se emplearon en los modelos detallados de elementos finitos de estas conexiones y sus soluciones numéricas se compararon con los resultados de la prueba (Tanga, et al., 2019).

El bambú, como material de cultivo natural que tiene una de las tasas de crecimiento más rápidas, posee varios méritos como material de construcción sostenible alternativo: bajo costo, reciclable, renovable, mayor dureza y resistencia (en comparación con la madera típica) De hecho, la abundancia de bambú es notablemente alta, aproximadamente 140,000 metros cuadrados de bosques de bambú en el mundo (Tanga, et al., 2019).

Un análisis del ciclo de vida ambiental del bambú mostró que, en algunas aplicaciones, el bambú tiene 20 veces menos carga sobre el medio ambiente que las alternativas utilizadas actualmente, lo que lo convierte en un material de construcción muy sostenible, mientras que el bambú natural, un tubo hueco, tiene una resistencia razonable a la fuerza de flexión y se ha utilizado durante mucho tiempo como material de construcción en la historia de la humanidad (Tanga, et al., 2019).

Los estudios experimentales en este artículo destacaron los comportamientos de las conexiones de un solo tornillo y de varios tornillos, junto con proporcionar los parámetros necesarios de las propiedades mecánicas del bambú laminado para establecer la relación constitutiva orto trópica y el criterio de falla de Hill. Los impactos de la distancia al borde, el tamaño del perno, el grosor de las tiras de bambú laminadas y los múltiples pernos se probaron y analizaron experimentalmente. Los parámetros materiales se emplean con éxito en los modelos computacionales de las conexiones y demuestran un acuerdo razonablemente bueno con las

pruebas. Además, se sacaron las siguientes conclusiones:

1) Según los experimentos sobre las propiedades mecánicas del bambú laminado, las 12 constantes elásticas para las relaciones constitutivas y los 6 parámetros para el criterio de falla de Hill mostraron consistencia, y las resistencias cumplieron con los requisitos normales para los materiales de construcción.

2) Aunque existían diferencias entre las conexiones de un solo perno y las de varios pernos, los modos de falla observados de las muestras de conexiones se clasificaron como división longitudinal, corte y combinación longitudinal de división y trituración de bambú.

3) Para el bambú laminado y el tamaño del perno (diámetro d) utilizado en este estudio, la capacidad de la conexión se mantuvo estable cuando la distancia al borde de la conexión de un solo perno era mayor que $5d$ o la separación de la conexión de varios pernos era más grande que $5d$.

4) Los resultados de las conexiones de pernos múltiples también revelaron que la configuración escalonada de los pernos mejoró la capacidad.

5) Los resultados de las conexiones de un solo perno indicaron que la capacidad de la conexión aumenta aproximadamente linealmente con el diámetro del perno.

6) De acuerdo con ASTM D5764-97a para conexión de madera, la fórmula de diseño para calcular la resistencia de las conexiones de madera subestimó significativamente la resistencia de las conexiones de bambú laminadas atornilladas.

Gülru, Türker & Nusret (2018) Using the Ultrasonic Stress Wave Technique to Evaluate Structural Timber Members of an Old Masonry Building, Kastamonu Uni. El objetivo principal

de este estudio es evaluar el estado actual de los miembros de madera estructural de un antiguo edificio de mampostería mediante el uso de métodos de prueba destructivo y no destructivo y determinar la eficiencia de los métodos de prueba no destructivos mediante la obtención de correlaciones entre parámetros de prueba destructivos y no destructivos.

Es importante evaluar la capacidad estructural residual y preservar la configuración original de las viejas estructuras de madera no solo para evaluar la seguridad de un edificio, sino también para preservar el patrimonio histórico y la sostenibilidad de la estructura. En muchos países mediterráneos y Turquía, con numerosos edificios históricos se han conservado y los procedimientos para preservar el patrimonio arquitectónico tiene importancia recientemente adquirida (Gülru et al., 2018).

Debido a que la madera está hecha principalmente de sustancias orgánicas, el deterioro de la madera generalmente es causado por procesos biológicos. Los defectos naturales, como nudos, marcas y grietas, también influyen en las propiedades de resistencia de la madera. Existe cierta controversia sobre la influencia del historial de carga y la duración en las propiedades de resistencia de los miembros de madera estructural, pero en general, si no se produce daño durante la carga, se puede suponer que no hay pérdida en las propiedades mecánicas (Gülru et al., 2018).

Las propiedades de resistencia de la madera se pueden determinar mediante pruebas destructivas de acuerdo con procedimientos estandarizados. Aunque esta es una práctica común, las pruebas destructivas generalmente no son aceptables en edificios antiguos existentes debido a la pérdida permanente de los miembros de madera. En los últimos años, los métodos de prueba no destructiva también se han utilizado para evaluar las propiedades mecánicas de la madera para mantener la sostenibilidad e integridad de los edificios antiguos (Gülru et al., 2018).

Según los resultados de la investigación; La inspección visual inicial en los miembros de madera no mostró defectos notables que pudieran haber provocado inestabilidad en los especímenes. Algunos especímenes tenían grietas y sacudidas causadas por las uñas y algunos miembros habían sido afectados por ataques de insectos (Gülru et al., 2018).

La densidad secada al aire, la velocidad de la onda de tensión y los valores de resistencia están en concordancia con los valores de la literatura para madera nueva para las muestras de castaños, abetos y abetos. Sin embargo, se encontró que los valores para los especímenes de abeto de pared eran más bajos que los de la literatura, lo que indicaba un posible deterioro (Gülru et al., 2018).

Nguyen, Vestartas & Weinand (2019) Design framework for the structural analysis of free-form timber plate structures using wood-wood connections. Este artículo presenta un método para automatizar la generación de un modelo de elementos finitos para el análisis de estructuras con una gran cantidad de juntas de construcción de madera con madera. El modelo se desarrolla tomando el ejemplo de las placas de madera de doble capa. Los desplazamientos verticales obtenidos con el modelo de resorte semirrígido propuesto están en buen acuerdo con las pruebas experimentales realizadas en prototipos a pequeña escala, mientras que el modelado rígido de las conexiones subestima altamente los desplazamientos de la estructura

Lo anterior se da debido a los recientes avances en la tecnología de herramientas de información que han llevado al desarrollo de conexiones de madera con control numérico por computadora, inspiradas en las uniones de carpintería tradicionales (Nguyen et al., 2019).

En consecuencia, la fabricación digital ha permitido el diseño de estructuras de placas de madera con geometrías complejas. Aunque el ensamblaje de estas estructuras todavía se lleva a

cabo manualmente, tanto el diseño como la fabricación se han automatizado utilizando la programación de diseño computarizado y las herramientas automáticas de prefabricación. Sin embargo, la investigación se ha centrado en el desarrollo de herramientas automatizadas para el análisis estructural de estructuras de madera con geometrías complejas (Nguyen et al., 2019).

En conclusión, este documento presenta un método para automatizar la generación de un modelo para el análisis estructural de estructuras de placas de madera con una gran cantidad de conexiones de madera-madera, tomando el ejemplo de las capas de placa de madera de doble capa y doble curva, para lo cual, se desarrolló un modelo numérico que utiliza muelles con un acoplamiento de borde a punto medio para modelar la semi-rigidez de las conexiones madera-madera (Nguyen et al., 2019).

Los autores demuestran que la semi-rigidez de las conexiones tanto en traslación como en rotación era importante, que los desplazamientos verticales del modelo numérico coincidían con las pruebas de flexión de tres puntos realizadas en tres especímenes a pequeña escala, utilizando los valores de semi-rigidez de las pruebas experimentales en conexiones madera-madera. Además, que tomar la semi-rigidez de las uniones en el modelo es esencial, ya que el modelo semirrígido mostraba un 8% más de rigidez que las pruebas experimentales, mientras que un modelo rígido tenía un 188% más de rigidez en promedio (Nguyen et al., 2019).

Shahriar (2019) Finite-Element Analysis of Wood-Frame Houses under Lateral Loads. El estudio se ocupó del análisis de elementos finitos de casas con estructura de madera para estudiar la influencia del techo, paredes laterales y divisorias, y la conexión de la en la resistencia de carga en el plano de las paredes. Para lo anterior, se desarrollaron modelos detallados de elementos finitos de casas con armazón de madera incorporando todos los detalles de conexión.

Los resultados de la simulación de una casa completa y una pared independiente de una casa completa se validaron contra las respuestas de la literatura. Sobre la base de las respuestas simuladas, se demostró que la resistencia de carga en el plano de un muro se subestima significativamente cuando las resistencias se evalúan desde un muro independiente sin considerar los efectos del sistema desde el techo y las paredes laterales y divisorias (Shahriar, 2019).

Por lo tanto, se propone un factor de efecto del sistema en función de la relación de aspecto de la pared y la presencia del techo para tener en cuenta el aumento de las resistencias de carga en el plano de las paredes calculadas en función de los métodos analíticos disponibles. Los resultados del análisis también demuestran el efecto de la conexión entre el marco de la pared y la estructura inferior. Cuando el marco de la pared se conecta a la estructura inferior con clavos en lugar de pernos de anclaje, las paredes de la casa tienden a volcarse en lugar de sufrir una desviación de corte de los paneles de tablero de filamentos orientados, lo que resulta en resistencias de carga en el plano inferiores (Shahriar, 2019).

La mayoría de las propiedades residenciales unifamiliares y multifamiliares en los Estados Unidos consisten en la construcción de marcos de madera. Según los datos disponibles de la Oficina del Censo de los Estados Unidos entre los años 2009–2017, el 94% de las propiedades residenciales unifamiliares y el 74% de viviendas multifamiliares están hechas de marcos de madera (Shahriar, 2019).

Las resistencias de carga en el plano de las paredes con marco de madera se derivan de las respuestas medidas de los experimentos realizados en una pared independiente en el laboratorio. Es costoso y tedioso construir una casa completa y probarla para calcular las resistencias de carga en el plano (Shahriar, 2019).

La conexión entre la placa inferior de la pared y la estructura inferior, como una base de concreto o un sistema de piso de madera, es un componente muy importante de los modos de falla del sistema de pared (Shahriar, 2019).

En este estudio, se demostró que las resistencias de carga de las paredes se subestiman al no tener en cuenta los efectos del sistema proporcionados por el techo y las paredes laterales y divisorias. Las resistencias de carga en el plano de las paredes se evaluaron con y sin techo, y las resistencias de carga en el plano aumentaron en comparación con las de las paredes independientes (Shahriar, 2019).

Johannes, Ekevad, Girhammar & Berg (2018) Structural robustness and timber buildings – a review, *Wood Material Science & Engineering*. Los edificios de madera están aumentando en sus dimensiones. La robustez estructural es imprescindible para todos los edificios y específicamente importante para los edificios altos. Se pueden salvar vidas si se puede evitar un colapso desproporcionado después de un evento catastrófico (por ejemplo, accidente, terrorismo). La literatura sobre robustez es exhaustiva con respecto a los edificios de concreto y acero, pero es bastante limitada con respecto a la madera. Este artículo revisa la robustez en general y la robustez de los edificios de madera en particular. La robustez es una propiedad estructural intrínseca, que mejora la tolerancia global a las fallas locales, independientemente de la causa.

Un enfoque determinista para evaluar la robustez es eliminar ciertos elementos de carga de la estructura y comparar las consecuencias con los límites dados. Los métodos de diseño para la robustez pueden ser directos al evaluar los efectos de la falla local, o indirectos al seguir las pautas. Para edificios de madera robustos, las conexiones son los aspectos clave. Por lo general, los conectores metálicos pueden proporcionar la ductilidad articular requerida. Para una

construcción robusta con estructura de madera ligera, se pueden diseñar vigas de borde. Para postes y vigas de madera y madera laminada en cruz, la orientación sobre robustez es escasa, pero en algunos aspectos parecen ser similares a los marcos de acero y al hormigón prefabricado. La investigación futura debería evaluar la capacidad de las conexiones y evaluar la idoneidad de los conectores sísmicos para edificios de madera robustos (Johannes et al., 2018).

La robustez aborda preguntas sobre cómo una estructura de edificio puede tolerar eventos de carga imprevistos que resultan en fallas locales y aún cumple su función de proteger vidas humanas. Cuantas más personas puedan verse perjudicadas, más grave será la cuestión de la robustez (Johannes et al., 2018).

Un evento bien conocido que inició la investigación en el campo de la robustez estructural es el caso de Ronan Point en Londres, Reino Unido en 1968, allí, una explosión de gas en un apartamento de la esquina de un edificio de concreto de 22 pisos condujo al colapso de todo el edificio. Otro evento característico es el colapso de una gran parte del Edificio Federal Murrah en 1995 en la ciudad de Oklahoma iniciado por un coche (Johannes et al., 2018).

Además, en el artículo se presentan algunos casos de estudio acerca del colapso en Estructuras de madera, así como: (Frühwald, 2011; Dietsch, 2011) quienes describen las causas de falla de varias estructuras de madera, ambos identifican que la mayoría de las fallas fueron causadas por errores de diseño y que la mayoría de las fallas en general estaban relacionadas con errores humanos graves; Dietsch (2011), argumenta que los errores durante el diseño probablemente tendrán un efecto repetitivo en todos los elementos afectados y, por lo tanto, conducirán a efectos globales en la estructura. Las investigaciones de Frühwald (2011) mostraron que la falla se produjo con mayor frecuencia en vigas, armaduras y el sistema de arriostramiento

(Johannes et al., 2018).

Los análisis deterministas de la robustez estructural de los edificios de madera son más difíciles de encontrar en la literatura. Dietsch (2011) realizó una evaluación determinista de diferentes sistemas de correas en una estructura de techo de madera de gran envergadura, donde se eliminaron nocionalmente diferentes correas entre dos soportes y diferentes vigas principales que actúan como soportes y se estudiaron las consecuencias (Johannes et al., 2018).

Para los edificios de madera, un enfoque de análisis determinista de la robustez estructural no parece estar tan bien establecido como para las estructuras de hormigón y acero. El material disponible se centra en construcciones ligeras con armazón de madera (Johannes et al., 2018).

Para la madera en general, su baja relación peso/resistencia puede ser ventajosa en caso de colapso. Una desventaja es su fragilidad inherente y, por lo tanto, las conexiones deben suministrar la mayor parte de la ductilidad necesaria. Es posible que se requiera un diseño basado en la capacidad para las conexiones de madera, para permitir el rendimiento del plástico en las juntas antes de la falla de la madera quebradiza (Johannes et al., 2018.)

Las estructuras de marco de madera livianas se pueden hacer robustas mediante vigas de borde en cada piso que pueden salvar huecos después de la extracción del elemento. Los paneles de pared que actúan como vigas profundas y los diafragmas del piso que actúan como membranas también pueden redistribuir las cargas en caso de falla, si se proporciona un anclaje efectivo entre ellas y si las fuerzas de anclaje resultantes son absorbidas por la estructura circundante (Johannes et al., 2018).

El diseño sísmico de edificios de madera exhibe ciertas similitudes con el diseño para robustez. Ambos se centran en el diseño basado en la capacidad y la ductilidad del conector. En ambos enfoques de diseño, la energía necesita ser disipada bajo grandes deformaciones plásticas, en diseño sísmico principalmente a lo largo de caminos de carga horizontales, y en robustez principalmente a lo largo de caminos de carga vertical. Algún conocimiento sobre diseño sísmico puede ser transferible a robustez (Johannes et al., 2018).

Vijay, Tulasi & GangaRao (2019) *Structural Evaluation and Rehabilitation of Century-Old Masonry and Timber Buildings*, American Society of Civil Engineers. Este trabajo se centró en los aspectos de evaluación del estado estructural, reparación y rehabilitación de edificios antiguos construidos principalmente con mampostería y madera. Específicamente, varios edificios escolares que son viejos y considerados históricamente importantes en el panorama educativo regional fueron considerados para evaluación. Se utilizaron varias técnicas de prueba de carga visual y no destructiva para evaluar la condición estructural, tensiones y deformaciones, problemas estructurales y no estructurales, y la seguridad del edificio.

La construcción de infraestructura en los Estados Unidos está en riesgo de deterioro estructural debido a la exposición ambiental agresiva, cargas mecánicas a largo plazo, daños por humedad y corrosión, envejecimiento y otros mecanismos. Los edificios antiguos e históricos en los Estados Unidos incluyen, entre otros, coloniales, victorianos, iglesias, conventos y seminarios, museos, edificios escolares, granjas, graneros, molinos, tabernas y casas de troncos que van del siglo 17 al 20 (Vijay et al., 2019).

El estudio de este artículo trató sobre los métodos de evaluación y la evaluación de la condición de los edificios que se construyeron hace aproximadamente un siglo. Específicamente,

este estudio se centró en la evaluación del estado de los edificios escolares grandes en servicio construidos predominantemente de mampostería y madera con un uso mínimo de miembros de acero (Vijay et al., 2019).

Sobre la base de las preocupaciones estructurales y de seguridad relacionadas con las propiedades mecánicas y el rendimiento de los miembros de madera centenarios utilizados en los edificios, las muestras de madera se recogieron por astillado o proceso de perforación incremental (Vijay et al., 2019).

Kallsner & Girhammar (2009), Analysis of fully anchored light-frame timber shear walls—elastic model. Este artículo trata de un modelo de análisis elástico para paredes de corte con marco de madera revestida completamente anclada. El modelo se basa en la suposición de una relación lineal de carga y deslizamiento elástico para las juntas de revestimiento a enmarcado. Solo se consideran las cargas estáticas. El comportamiento estructural básico y los supuestos para el modelo elástico se dilucidan. Se derivan fórmulas para la capacidad de carga y la deformación de las paredes de corte en los estados límite último y de servicio, respectivamente. Se discuten tanto una descripción de punto discreto como un modelado de flujo continuo por unidad de longitud de los sujetadores.

Además, se derivan las fuerzas y los desplazamientos de los sujetadores y el revestimiento. Se ilustra el efecto de diferentes patrones y espaciamiento de los sujetadores sobre la capacidad y el desplazamiento de la pared. Se evalúa la influencia de los miembros de encuadre flexibles y las deformaciones de corte en las láminas, y también el efecto de las cargas verticales en la pared de corte, tanto con respecto a los efectos de inclinación como de segundo orden, sobre la capacidad de carga horizontal y el desplazamiento. Se derivan la distribución de tensiones y las fuerzas de

reacción en los extremos de los diferentes elementos de estructura. El modelo elástico se verifica experimentalmente y se ofrece un ejemplo ilustrativo (Kallsner & Girhammar, 2009).

Con el fin de estabilizar los edificios de madera con marcos ligeros contra cargas laterales, a menudo se usa la acción del diafragma de techos, pisos y paredes. Este artículo se centra principalmente en el comportamiento estructural de los diafragmas de pared o paredes de corte. En un típico edificio de marco de madera sometido al viento, los diafragmas de la pared sufren cargas de estantería. Estas cargas actúan en el plano de la pared y causan cizallamiento de la pared. Una pared de corte típica consiste en un marco de madera que está compuesto por montantes, rieles superior e inferior y paneles de revestimiento (Kallsner & Girhammar, 2009).

Para explicar el comportamiento estructural de los diafragmas de pared se necesitan algunos antecedentes teóricos. El propósito de este trabajo es presentar las teorías básicas para los diafragmas de pared totalmente anclados con el fin de dilucidar el comportamiento fundamental y los supuestos de las paredes de corte y calcular la capacidad y la rigidez de las paredes (Kallsner & Girhammar, 2009).

Los muros de corte se construyen de diferentes maneras según las tradiciones locales. Se pueden prefabricar en una fábrica o construir en el sitio. Las paredes de corte prefabricadas pueden consistir en uno o varios conjuntos de pared de diferentes tamaños. El comportamiento estructural de los diafragmas de pared está determinado en gran medida por las juntas de revestimiento a armazón y cómo se conectan los diafragmas a la estructura circundante (Kallsner & Girhammar, 2009).

Azla, Puaad, Ahmad, Talip & Yasin (2018) Compressive Strength Properties of Malaysian Tropical Timber in Structural Size. El objetivo de este artículo fue evaluar las propiedades de

resistencia a la compresión de la madera para ocho tipos de madera de Malasia seleccionadas de diferentes grupos de resistencia y los resultados de especímenes claros pequeños se correlacionaron estadísticamente con los resultados de los especímenes de tamaño estructural. La aplicación de datos de muestras de tamaño estructural se puede utilizar para predecir la calidad mucho más alta y la resistencia de la madera que se utilizará en el campo de la construcción y también se puede publicar en el código de prácticas de Malasia (Azla et al., 2018).

La madera aserrada del tronco, independientemente de la especie y el tamaño, tiene su variabilidad en las propiedades mecánicas. Las piezas pueden diferir en fuerza en varios cientos por ciento. Por simplicidad y uso económico, las piezas de madera de propiedades mecánicas similares se colocan en categorías llamadas grados de tensión. Las tensiones se derivan para que el diseñador pueda diseñar con confianza estructuras con seguridad, economía y belleza de acuerdo con el grupo de adecuación de especies de madera (Azla et al., 2018).

2.2 Marco Teórico

La madera es un material que posee una serie de características especiales, entre las cuales se puede destacar las propiedades físicas, dentro de las cuales se encuentra su resistencia mecánica, por la estructura direccional de sus fibras; la flexibilidad, que permite que pueda ser curvada o doblada mediante el calor, la humedad o la presión; la dureza, mayor o menor dependiendo del tipo de madera; y la capacidad como aislamiento térmico y acústico debido a las diminutas burbujas de aire que alberga.

La madera es uno de esos materiales que pueden emplearse en prácticamente cualquier elemento estructural o no estructural de las edificaciones, esto se debe a que se puede utilizar en la propia construcción de la edificación como material base, es decir, para los cimientos, para las

estructuras y para las cubiertas. Como se describió anteriormente, la madera es una buena opción por sus propiedades aislantes, sin embargo, si se ubica en una zona de alto riesgo de incendio, podría no ser el material más adecuado, aun así, actualmente la madera puede tratarse químicamente para hacerla resistente al fuego.

Además, también se puede utilizar en la construcción de estructuras de soporte para la edificación, entre las que destacan las columnas y las vigas de madera. Para las cubiertas, con este material puedes crear fácilmente techos de doble altura que, combinados con suelos de alturas igualmente asimétricas. En cuanto a los elementos no estructurales con madera, algunas edificaciones revisten las paredes con láminas gruesas, lo cual resulta más resistente y limpio que las paredes pintadas.

Por último, se encuentran los muebles y los productos de carpintería, ya que este material se utiliza en la producción de todo tipo de muebles, en serie y a medida, para exterior y para interior: En los espacios exteriores, la madera es usada en las vallas y los bancos del jardín, ya sean naturales o pintados, en cubiertas de plantas y en cobertizos; en los interiores, este material se emplea en la fabricación de todo tipo de muebles, desde los armarios y las superficies de la cocina y del baño hasta las mesas, sillas, estanterías para libros y aparatos multimedia, estantes, escritorios, armarios, cómodas, etc.

La madera está compuesta por fibras de celulosa, sustancia que conforma el esqueleto de los vegetales, y lignina, que le proporciona rigidez y dureza. Por las fibras circulan y se almacenan sustancias como agua, resinas, aceites, sales. En su composición están en mayoría el hidrógeno, el oxígeno, el carbono y el nitrógeno con cantidades menores de potasio, sodio, calcio, silicio y otros elementos. La Madera se descompone por parte de microorganismos tales como bacterias y

hongos o daños por parte de insectos, por tal razón es importante darles un tratamiento que evite su deterioro (Pacini, 2019).

Tipos de Maderas:

Maderas blandas: Son las de los árboles de rápido crecimiento, normalmente de las coníferas, árboles con hoja de forma de aguja. Son fáciles de trabajar y de colores generalmente muy claros. Constituye la materia prima para hacer el papel. Algunas maderas blandas son las siguientes: Álamo, sauce, acacia y pino.

Maderas duras: Son las de los árboles de lento crecimiento y de hoja caduca. Suelen ser aceitosas y se usan en muebles, en construcciones resistentes, para herramientas. Algunas maderas duras son el Roble y el Nogal.

Maderas resinosas: Son especialmente resistentes a la humedad. Se usa en muebles y en la elaboración de algunos tipos de papel. Algunas maderas resinosas son el Cedro y el ciprés.

Maderas finas: Se utilizan en aplicaciones artísticas, escultura y arquitectura, para muebles, instrumentos musicales y objetos de adorno. Algunas maderas finas son el Ébano, el abeto y el arce.

Por último, se tienen las Maderas Prefabricadas: La cuales se elaboran con restos de maderas, como virutas de resto del corte. De este tipo son el aglomerado, el contrachapado, los tableros de fibras y el tables.

2.3 Marco Conceptual

Madera: Es conceptualizado como un material ortótropo, duro y fibroso con el cual están formados los troncos de árboles desarrollados por años, formando anillos concéntricos correspondientes al diferente crecimiento de la biomasa según las estaciones, recubierto por una corteza protectora integrada por células unidas con lignina que se van muriendo. Las plantas que no producen madera son conocidas como herbáceas.

Estructura: Una estructura suele ser definida como el conjunto de los elementos importantes de un cuerpo, un edificio u otra cosa. Suele relacionarse con la armadura que sirve de soporte para ese determinado cuerpo, edificio, entre otros. En Arquitectura y la ingeniería civil, hace referencia a los elementos que cumplen la función de resistir las cargas, para ello cumplen la condición de estabilidad y equilibrio: La primera condición se vincula con los movimientos de los edificios, esto evita posibles derrumbes a causas de factores externos como el viento; La segunda condición, el equilibrio, garantiza también la inmovilidad, pero a su vez no permite que se altere la forma del edificio.

Diseño Sismo resistente: Una edificación es sismo resistente cuando se diseña y construye con una adecuada configuración estructural, con componentes de dimensiones apropiadas y materiales con una proporción y resistencia suficientes para soportar la acción de las fuerzas causadas por sismos frecuentes. Aun cuando se diseñe y construya una edificación cumpliendo con todos los requisitos que indican las normas de diseño y construcción sismo resistente, siempre existe la posibilidad de que se presente un terremoto aún más fuerte que los que han sido previstos y que deben ser resistidos por la edificación sin que ocurran daños. Por esta razón no existen edificios totalmente sismorresistentes. Sin embargo, la sismo resistencia es una propiedad

o capacidad que se dota a la edificación con el fin de proteger la vida y las personas de quienes la ocupan. Aunque se presenten daños, en el caso de un sismo muy fuerte, una edificación sismo resistente no colapsará y contribuirá a que no haya pérdidas de vidas y pérdida total de la propiedad.

Construcción: Es una palabra originaria del latín con componentes léxicos como el prefijo «con» que quiere decir completamente o globalmente; y «estruere» que significa juntar o amontar, más el sufijo «cion» que es acción y efecto. Por lo tanto, la palabra construcción hace alusión a la acción y el efecto de construir o el arte de construir. Es decir, se refiere a diversas estructuras creada por el hombre mayormente de gran tamaño, como un edificio, una casa entre otros, utilizando diversos materiales u elementos como los cimientos, la estructura, los muros exteriores las separaciones interiores etc., que ayudan a facilitar dicha creación.

Estructura de madera: La utilización de la madera como sistema constructivo o como elemento estructural ha acompañado al hombre a lo largo de toda la historia. Al principio, junto a la piedra, era el principal elemento constructivo. Posteriormente aparecieron nuevos materiales que relegaron su utilización. Actualmente la evolución de su tecnología permite obtener productos estructurales más fiables y económicos, y su mejor conocimiento, tanto desde el punto de vista estructural como ecológico y medioambiental, la permite competir con el resto de los materiales estructurales.

Madera laminada encolada: La madera laminada encolada estructural consiste en elementos estructurales formados por el encolado de láminas de madera en dirección paralela al eje de las láminas. El espesor de estas láminas estará comprendido entre los 6 y los 45 milímetros y por lo general se utilizarán especies coníferas o chopo tratadas o no frente a agentes biológicos.

La madera más utilizada para realizar perfiles de madera laminada encolada para uso estructural es la procedente de especies coníferas como el pino silvestre, que es muy abundante en todo el mundo. Pero también se pueden utilizar otro tipo de especies frondosas como eucalipto, el roble, el castaño, el fresno, el haya y el iroko. En realidad, no hay limitaciones a cualquier especie de madera siempre y cuando cumpla unas condiciones físicas mínimas.

Adhesivos para madera: Los adhesivos o pegamentos para madera se emplean para lograr la adherencia entre dos piezas de madera de manera firme y duradera. Existen multitud de pegamentos, en base a productos de diferente origen, tanto químicos como naturales.

Tipos de pegamento para Madera:

Cola tradicional de carpintero o reversible: este pegamento tradicional se obtenía empleando diversas partes del ganado (cuero, pezuñas, cuernos, cartílagos, quijadas) que se hervían durante horas o días ininterrumpidamente, hasta obtener una gelatina muy espesa con un intenso aroma animal. La gelatina se esparcía sobre una malla de alambre y se dejaba secar. Estas planchas se molían y el polvo se ponía en remojo.

Cola en frío: es similar a la cola de carpintero, pero con menor poder adherente y secado más lento. Consiste en un polvo granuloso que se empasta con agua, se deja reposar y se licua a conveniencia.

Cola blanca vinílica: hay una gran variedad de colas blancas, con distintas densidades y características de secado. Estas colas se elaboran en base a resina vinílica soluble en agua. Al secarse, los componentes vinílicos tienden a reunirse. Se utiliza una capa muy fina, pero las piezas deben encajar perfectamente. Su secado es bastante rápido, alrededor de una hora, y se

torna transparente. No es resistente al agua. Se trata del pegamento para madera más utilizado para encolar.

Pegamentos de contacto: aunque este tipo de adhesivos se usa en multitud de campos, en el caso de madera se utiliza principalmente para colocar chapas o para unir maderas con otros materiales menos porosos.

2.4 Marco Legal

Para la realización del presente trabajo de grado se tendrá en cuenta toda la normatividad vigente en Colombia, lo cual es:

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), Título G – “Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua”.

Norma Técnica Colombiana NTC 2500 Uso de la madera en la Construcción, Norma ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación: Maderas. Determinación de la resistencia a la flexión. NTC 663 Maderas.

Determinación de la resistencia a la compresión perpendicular al grano. NTC 785 Maderas.
Determinación de la resistencia a la compresión paralela al grano. NTC 784 Maderas.

Determinación de la tracción paralela al grano. NTC 944 Maderas.

Determinación de la resistencia al cizallamiento paralelo al grano. NTC 775.

Norma Técnica Colombiana NTC 5950 “Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural de terminación de algunas propiedades físicas y mecánicas”, Norma ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación:

Determinación de la resistencia al esfuerzo cortante paralelo a la fibra. Norma Técnica Colombiana NTC 301 “Requisitos de las probetas pequeñas para los ensayos físicos y mecánicos de la madera”. Norma ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Decreto Ley 2811 del 18 de diciembre de 1974, Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Capítulo II. De los aprovechamientos forestales.

Ley 99 de 21 de diciembre de 1993, Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones.

Decreto ley 1791 de 1996, por medio de la cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal.

3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

La investigación es exploratoria, porque su objetivo es la formulación de un problema, para posibilitar una investigación más precisa o el desarrollo de una hipótesis. También es descriptiva y documental, porque expresan las características de un grupo o situación, midiendo o evaluando diversos aspectos, variables, dimensiones o componentes del fenómeno objeto de estudio y se basa en documentos existentes, cuyos datos pueden ser escritos, testimoniales o bibliográficos.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población. Bases de datos de artículos, tesis, libros y sitios Web que contenga información relacionada con el tema para la escritura del estado del arte y a su vez la monografía.

3.2.2 Muestra. Principalmente las bases de datos: ScienceDirect®, Web of Science, Google Académico, y las demás bases de datos que presenten información relacionada con la ingeniería estructural, enfocada en el diseño de estructuras sísmo resistentes de madera.

3.3 Fases y Actividades Específicas del Proyecto

Objetivo 1: Hacer una revisión bibliográfica del estado del arte del uso de la madera como material estructural en edificaciones sísmo resistentes.

Actividad 1: Recolección de información por medio de la revisión de bases de datos.

Actividad 2: Clasificar la información recolectada, y seleccionar lo acorde al presente proyecto.

Actividad 3: Elaborar el estado del arte acerca del uso de madera estructural en las construcciones civiles.

Objetivo 2: Describir la evolución del uso de la madera en construcción de edificaciones sismo resistentes.

Actividad 1: Mediante la información recopilada en el estado del arte, mostrar cual es la evolución que ha tenido el uso de la madera en edificaciones sismo resistentes a través de los años.

Objetivo 3: Identificar las características y materiales derivados de la madera cuando se usa como material estructural.

Actividad 1: Identificar cuáles son las características que deben tener la madera para poder ser utilizada en la construcción de edificaciones.

Actividad 2: Presentar materiales derivados de la madera que son utilizados en la construcción de edificaciones.

Objetivo 4: Presentar metodologías de diseño de estructuras de madera y tratamiento de material según su uso, normatividad y control de calidad.

Actividad 1: Presentar las diferentes normatividades a nivel mundial acerca de la construcción en madera.

Actividad 2: Mostrar las metodologías de tratamiento y control de calidad según la normativa del uso de madera en diferentes países.

Actividad 3: Presentar la metodología de diseño de edificaciones con madera estructural.

4. Resultados

4.1 Revisión Bibliográfica del Estado del Arte del Uso de la Madera como Material

Estructural en Edificaciones Sismo Resistentes

Claramente, la madera se ha utilizado para reforzar las construcciones de sillería de piedra en los monumentos antiguos de Petra, Jordania. Autores como Barrios, Contreras, Owen & Rondón (2011) consideran que la madera como recurso natural renovable es explotada en la mayor parte de los países y usada extensivamente en forma industrializada para la construcción de viviendas. La madera ha sido un material importante para la construcción de edificios a través de la historia de todas las regiones del mundo. Por otro lado, autores como Del Llano (2010) señala que no se ha realizado ningún análisis de cómo funciona la madera desde el punto de vista de la ingeniería estructural, especialmente durante los terremotos. La madera se utilizó en forma de hileras de cuerdas flexibles que mantenían unidos los frágiles sillares de piedra. Por otro lado, Timothy (2005) en su estudio analizó cómo por medio de la construcción de vivienda por medio de madera se puede aumentar la resistencia de los edificios y en qué medida funciona como dispositivo antisísmico. Según el autor, la reparación y conservación de estas vigas fueron para fortalecer la estructura frente a posibles terremotos. Los resultados del estudio mostraron que el monumento en estudio; que es Qasr el-Bint, ha sobrevivido a terremotos moderados debido a estos haces que funcionaban como dispositivos antisísmicos, y puede continuar haciéndolo si estos haces se reajustan y refuerzan.

Conforme a lo anterior, se puede decir que la madera es un material de construcción utilizado tradicionalmente para casas y edificios de poca altura. Etchenique & Serra (2018), las construcciones con madera últimamente han tomado un campo de acción amplio, en Europa, por

ejemplo, en España, por ejemplo, desde siglos pasados ya la madera se venía utilizando en edificaciones rústicas, con el paso de los años esta ha jugado un papel importante en el diseño y estructuras de las viviendas o edificaciones sismo resistentes. La aplicación de diseño estructural de madera ha dado lugar a compuestos de madera con propiedades mecánicas mejoradas, en la actualidad se utilizan compuestos de madera de ingeniería, como la madera compuesta estructural, la madera de chapa laminada y la madera contralaminada se podrían utilizar para construir edificios altos de madera. Al respecto Pang (2010) y Gagnon (2010), señalan que utilizando principalmente elementos estructurales de madera se pueden conseguir calidad en el acabado de las edificaciones y excelente calidad en las mismas en cuanto a sismos se refiere.

Buchanan (2005), considera que la construcción de viviendas con productos de madera estructural ha aumentado considerablemente en las últimas décadas en todo el mundo. Este aumento responde en parte a la consideración de temas ambientales y de sustentabilidad dentro de los nuevos proyectos de construcción, donde la madera se considera superior a otros materiales como el hormigón armado (RC) y el acero estructural. La madera crece, se corta y se transporta a una fábrica, donde se procesa cortándola y posiblemente pegándola o clavándola / atornillando, un proceso de producción de bajo consumo energético. El hormigón y el acero, por otro lado, requieren una cantidad mucho mayor de energía y recursos para pasar de un recurso natural como la cal y el mineral de hierro a un material de construcción. Además, la minería, el transporte y el procesamiento de RC y acero involucran varios productos químicos y desechos, que son perjudiciales para el medio ambiente.

Al respecto Hermoso & Fernández (2007), consideran que el uso de la madera en la construcción es efectivo, es un recurso renovable que permite proteger el medio ambiente, de igual forma plantean que de acuerdo al tipo de madera que se utilice puede llegar a obtener

excelentes beneficios en un diseño estructural de edificaciones. De igual forma, estudio realizado por Banks (1996), resaltó la importancia del uso de la madera en un edificio residencial y de estacionamiento de 10 pisos situado en Auckland, Nueva Zelanda. Conforme al estudio, el edificio tenía una serie de caja de madera contrachapada muros de corte y un marco resistente a momentos con columnas de caja de madera contrachapada y vigas de madera laminada. En la siguiente tabla se referencian por fechas proyectos que se han llevado a cabo a nivel mundial donde la madera ha jugado un papel importante:

Tabla 1. Proyectos a nivel mundial donde la madera ha sido usada dentro del diseño estructural en diseño de edificaciones

Nombre	const año.	Num-plantas	Localización	Sistema híbrido	Referencias
Gulf View Towers	1995	10	Auckland, Nueva Zelanda	LTF, LTF reforzado con madero.	Banks (1996) Banks s (1999)
Scotia Place	2000	12	Auckland, Nueva Zelanda	Estructura en madera laminada	Moore (2000)
Kanazawa M Bldg	2004	5	Kanazawa, Japón	Marcos de madera laminada.	Koshihara et al. (2009) Isoda et. al. (2010)
Edificio de arte y medios de NMIT	2010	3	Nelson, Nueva Zelanda	Muros y marcos madera.	Koshihara2013) Devereaux et al. (2011) Holden et al. (2016)
Salón de convenciones de Kasukabe	2011	6	Kasukabe, Japón	Paredes LTF, LVL; 4 pisos	Koshihara2013)
Cuadrado de madera	2012	4	Koshigaya, Japón	Marcos de madera laminada.	Koshihara2013)
LCT Uno	2012	8	Dornbirn, Austria	Marcos y paredes de madera laminada.	Professner y Mathis (2012) Hein (2014)
LCT dos	2012	6	Montafon, Austria	Marcos y paredes de madera laminada.	Hein2014)
Ex-St. Elmo	2013	6	Christchurch, Nueva Zelanda	Marcos madera PRES-LAM.	Soluciones Ruaumoko (2012)
N / A	2015	5	Trento, Italia	Paredes en madera.	Reynolds et al. (2016)
Brock Commons	2017	18	Vancouver, Canadá	paneles CLT; marcos de madera laminada.	Fast et al. (2016)
Portland de carbono,	2017		Unido StatesGlulam	Marcos, suelos de madera.	KAISER GROUP

En la tabla 1 se puede apreciar aquellas regiones del mundo donde la madera ha sido utilizado dentro de los diseños estructurales, llama la atención que Nueva Zelanda y Japón han sido pioneros en cuanto al uso de la madera en los diseños estructurales de edificaciones. Se aprecia que la madera ha dado buenos resultados en países, aparte de los dos ya mencionados, Estados Unidos, Australia, Italia y Canadá. Estudio realizado por Moore (2000), demostró que la madera no solo puede ser usada como diseño estructural, sino que además en cuestiones no estructurales en el diseño del sistema de pisos de madera, tales como incendios, acústica / transmisión de ruidos, vibraciones y la humedad.

Por otro lado, Milburn & Banks (2004), diseñaron un edificio residencial de 7 pisos, donde la estructura incluía sistema antisísmico que comprendía muros revestidos de madera contrachapada. Los pisos en los niveles superior y del podio incluían madera contrachapada fijada a vigas en madera. Dando como resultado excelente acabado y diseño resistente. Así mismo, Koshihara (2009), Isoda (2010) y Koshi (2013), en sus estudios comprobaron la importancia de utilizar la madera en diseños estructurales de edificaciones.

Los estudios mencionados., sobre el uso de madera en edificios en Canadá, EE. UU., Australia y Nueva Zelanda, observan la notable importancia de la de madera en esta aplicación, señalan el margen de mejora y sugieren estrategias para la utilización de la madera en el diseño estructuras de edificaciones. Dichas investigaciones, han sugerido que las principales barreras para aumentar la participación de mercado de productos de madera en aplicaciones de edificaciones son el comportamiento frente al fuego y la confianza general del diseñador en la construcción comercial e industrial a base de madera. Si bien la cuestión del comportamiento frente al fuego se está abordando tanto a través de soluciones de diseño como enmiendas a los códigos y normas de construcción, la cuestión de la confianza general en el uso de madera como

material estructural en aplicaciones no residenciales requiere una mayor exploración.

Por lo observado hasta el momento se puede decir que la madera es considerada como uno de los materiales de construcción más importantes y confiables, ya que es un renovable y tiene una alta resistencia a los terremotos debido a sus propiedades. Se ha utilizado como material de construcción durante miles de años y aún se encuentra en la etapa de investigación y desarrollo. Una de las áreas de investigación importantes es la mejora de la resistencia a los terremotos de la casa de madera en las regiones propensas a los terremotos.

La madera ha sido uno de los principales materiales utilizados para fines estructurales. Además, se ha constituido como el único recurso natural renovable que posee buenas propiedades estructurales en el transcurso del tiempo. Hoy en día, se observa un interés creciente por este material que obedece en gran parte a su naturaleza viva. Este interés se basa principalmente en el bajo consumo de energía que requiere su transformación como material de construcción, lo cual resulta ventajoso frente a otros materiales en respuesta a un escenario actual de una crisis energética y una progresiva contaminación ambiental.

Entre las principales limitaciones que presenta el uso y comercialización de las viviendas de madera, se encuentran la calidad e imagen que se ha ido desarrollando en base a apreciaciones erróneas y en gran medida infundadas en todos los niveles socioeconómicos de nuestra sociedad, relativos al riesgo de incendio, a la destrucción prematura por pudrición y a un carácter temporal y provisorio.

Sin embargo, en la mayoría de los países desarrollados se alcanzan niveles altísimos porcentuales del uso de la madera como material estructural. Por ejemplo, Estados Unidos y Canadá alcanzan el 90% y en Nueva Zelanda el 60% del total de viviendas (Álvarez 2014).

Además, existe una relación directa entre las viviendas de madera con el confort y la seguridad que proporcionan. En contraste a países como el nuestro, donde una vivienda de madera se relaciona con la idea de algo provisorio, de mala calidad y poco durable (Timothy, 2005).

En fin, estudios realizados por Buchanan (2008), señala que las estructuras de madera pesada de varios pisos compuestas de elementos compuestos de madera han ganado popularidad en los edificios residenciales y no residenciales en la actualidad. Los paneles CLT rígidos brindan soluciones prácticas especialmente para los países que no tienen actividad sísmica, sin embargo, los países en regiones propensas a terremotos como Canadá, Nueva Zelanda, Italia estudian el análisis y experimentos de nuevas conexiones dúctiles y técnicas de construcción. Las conexiones clásicas (soporte, sujeción, etc.) que tienen baja capacidad de absorción de energía se evalúan con experimentos y se desarrollan conexiones innovadoras. En vista de la sostenibilidad, las propiedades positivas como el bajo consumo de energía, la capacidad de construcción rápida, el almacenamiento de carbono y la disminución de las emisiones de carbono hacen populares estos edificios de madera verde de varios pisos.

De igual forma, según Reynolds (2016), la madera es un material de construcción bien conocido durante siglos y en el pasado también se construyeron algunos edificios de mediana altura. En el siglo XX, los desarrollos en la tecnología de la madera permitieron que los productos de madera de ingeniería, es decir, madera laminada encolada, fueran una alternativa importante al acero, especialmente en edificios de gran luz (p. ej., cúpulas de concha de rejilla, estadios deportivos, etc.) con una relación resistencia / peso equivalente. En este mismo orden de ideas, Koshihara (2009) y Isoda (2010) las estructuras también son muy comunes en Australia, Canadá, Noruega, Suecia y EE. UU. En los últimos años, los productos de madera de ingeniería tienen una importancia notable para los edificios de mediana altura e incluso en las regiones

propensas a terremotos.

En la actualidad, existen algunos sistemas innovadores de resistencia a la fuerza lateral para estructuras de madera / híbridas de madera de varios pisos. Estos sistemas surgen del diseño adecuado de los elementos de madera y las conexiones de acero a través de su respuesta inelástica. Se están considerando estudios de investigación progresivos sobre edificios de madera de varios pisos. De igual forma, Devereaux (2011) y Holden (2016) a principios de la década de 1990, el desarrollo de paneles de madera laminada cruzada por parte de Austria, Alemania y Suiza llevó al progreso de las estructuras de madera maciza de varios pisos compuestas por paneles o, alternativamente, paneles con las conexiones adecuadas. La laminación cruzada proporciona una rigidez relativamente alta en el plano y fuera del plano. Además, el buen aislamiento térmico y acústico, la resistencia al fuego y el potencial de construcción rápida y económica hicieron que los paneles fueran populares para edificios residenciales, comerciales e institucionales sostenibles de varios pisos (Koshihara 2013).

Estudios recientes indican que el diseño resistente a terremotos a través de productos de madera sintética es alcanzable y asequible. El diseño sísmico de estructuras generalmente depende de la ductilidad de los miembros y las conexiones. Las innovadoras técnicas de diseño con compuestos de madera garantizan que el edificio sea funcional después de un gran terremoto. Dentro del alcance de este estudio, los enfoques de diseño resistente a terremotos y los resultados experimentales de Nueva Zelanda, Canadá e Italia se abordan para sistemas estructurales de madera / híbridos de madera de varios pisos. Se centrará en los tipos de miembros y conexiones, la eficacia del postensado, los sistemas de suelo, la sostenibilidad y la constructibilidad.

La madera es un material de construcción bien conocido durante siglos y en el pasado también se construyeron algunos edificios de mediana altura. En el siglo XX, los avances en la tecnología de la madera permitieron que los productos de madera de ingeniería, es decir, madera laminada encolada, fueran una alternativa importante al acero, especialmente en edificios de grandes luces (p. Ej., Cúpulas de rejilla, estadios deportivos, etc.) con una relación resistencia / peso equivalente. Las estructuras de madera de poca altura también son muy comunes en Australia, Canadá, Noruega, Suecia y EE. UU. En los últimos años, los productos de madera de ingeniería tienen una importancia notable para los edificios de mediana altura e incluso altos en regiones propensas a terremotos. En la actualidad, existen algunos sistemas innovadores de resistencia a la fuerza lateral para estructuras de madera / híbridas de madera de varios pisos.

Se están considerando estudios de investigación progresivos sobre edificios de madera de varios pisos. A principios de la década de 1990, el desarrollo de paneles de madera laminada cruzada) por Austria, Alemania y Suiza llevó al progreso de las estructuras de madera maciza de varios pisos compuestas por paneles, alternativamente, paneles con las conexiones adecuadas. La laminación cruzada proporciona una rigidez en el plano y fuera del plano relativamente alta. Además, el buen aislamiento térmico y acústico, la resistencia al fuego y el potencial de construcción rápida y económica hicieron que los paneles fueran populares para edificios residenciales, comerciales e institucionales sostenibles de varios pisos.

4.2 Evolución del Uso de la Madera en Construcción de Edificaciones Sismo Resistentes

Según Robles & Echenique (1991), la madera ha sido uno de los materiales más utilizados en la construcción de edificios desde la prehistoria. La madera tradicional permitió desarrollar estructuras contra temblores y según a la estadística resultados menos peligrosos posee ocurrió

durante algunos fuertes terremotos (Zanni 2004). Con el tiempo, la madera terminó siendo la preferida en muchas partes del mundo debido a sus características estéticas, bajo costo, fácil accesibilidad y fácil fabricación. Según, Salman & Hussain (2010), las estructuras de madera tradicionales, que se han utilizado durante siglos, han evolucionado por ensayo y error y se han mejorado contra los riesgos sísmicos. En este estudio se presentan propiedades sísmicas de estructuras tradicionales de madera, tipos de deformaciones, técnicas de evaluación y fortalecimiento frente a terremotos.

Las construcciones en madera según Reynolds (2012), empezó históricamente antes que las construcciones de piedra, ya que los nómadas en la prehistoria empezaban a construir estructuras más provisionales y rápidas donde guarecerse y preferían levantar chozas con paja y madera antes que levantar muros de piedra muy pesados. Dada la relativamente escasa durabilidad de la madera no se han conservado restos de estos albergues. Sin embargo, existen testimonios que de una manera indirecta permiten reconstruir sus características generales. En algunos casos se han encontrado huellas de elementos de madera en los suelos que estaban empotrados: la madera ha desaparecido, pero queda su impresión.

En este mismo orden de ideas, Reynolds (2012), indica que en lugar de ramaje se utilizaron troncos. La propia naturaleza indicaba el camino: el árbol vivo sugiere la columna; el árbol caído la viga. El empleo de elementos pesados para muros y techos condujo a viviendas de planta rectangular. Un ejemplo de la época paleolítica es el de las huellas de seis viviendas rectangulares, de tres metros de ancho por doce de longitud, descubiertas en Rusia en el poblado de Timonovka, sobre el río Desna, cerca de Briansk. Estas construcciones estaban hundidas en el suelo hasta una profundidad de tres metros. Se entraba en ellas por una rampa. Las paredes estaban forradas de troncos y el techo estaba formado también de troncos cubiertos con tierra. Se

atribuye a estas estructuras una antigüedad de unos

En el neolítico se encontraban establecidos los dos sistemas básicos utilizados en las estructuras de madera hasta prácticamente la época moderna: los edificios con muros formados por troncos de madera colocados horizontal o verticalmente y los edificios de armazones de columnas y vigas de madera rigidizados con elementos diagonales y horizontales (Robles & Echenique 1991).

El sistema de armazón, estaba conformado de postes y vigas, este sistema está cubierto por un ramaje y entre los postes se recubre con lodo. En el periodo neolítico también se construyeron los palafitos, viviendas construidas en los lagos sobre estacas o postes. El ejemplo más conocido corresponde a los restos de una población descubiertos, en el lago Zurich, Suiza. Otro poblado lacustre fue Glastonbury, en Inglaterra. Huellas de estructuras semejantes existen también en Italia e Irlanda (Robles & Echenique 1991).

En las regiones mediterráneas y del cercano oriente, desde tiempos muy remotos era muy usual encontrar construcciones con un armazón de madera y recubierto de ladrillos, por ejemplo, cuando no se utilizaba la madera para armazones de la edificación, entonces se utilizaba en el techo. Los sistemas de armazón de madera y rellenos de diversos materiales persistieron después del neolítico, durante largos siglos. Un ejemplo es el de las viviendas de los vikingos como las que se reproducen en la figura.

Como en otras regiones, en los países mediterráneos los primeros edificios fueron de madera. Esto puede apreciarse en las características de las grandes estructuras de piedra de la edad de oro de Grecia que reflejaban los elementos constructivos propios de las estructuras de madera, esencialmente la columna y el dintel. Aunque la piedra era el material dominante en los muros de

estos edificios, como en el Templo de Artemisa en Esparta (Siglo IX a de J.C) y el de Hera en Olimpia (640 a. de J.C), la madera siguió utilizándose para formar los techos, al igual que en las construcciones más antiguas, por su capacidad para salvar grandes claros (Robles & Echenique 1991).

En los romanos los usos estructurales de la madera comienzan a mostrar ciertos detalles más técnicos. En la época de Augusto, Vitruvio, en su tratado “De Architectura”, dio recomendaciones sobre las aplicaciones más convenientes de diferentes especies de árboles, el corte de la madera y su uso en la construcción.

A los romanos les debemos el estudio técnico de la madera como elemento estructural, empezaron a utilizar la madera con un poco más de inteligencia haciendo armaduras para techos, como esta de una Basílica, salvando un claro de 23 m.

La edad media es la época del florecimiento del uso de la madera como material estructural. En el norte y en el centro de Europa, la madera fue el material predominante en la construcción de viviendas y estructuras menores de todo tipo. La piedra se reserva para las construcciones monumentales. Aun en las regiones mediterráneas donde fue siempre más escasa que en el norte, se sigue utilizando la madera como refuerzos de muros y para techar (Gülkan & Langenbach 2004).

Conforme a estudios realizado por Reynolds (2012), señala que fue quizás en las Islas Británicas donde el uso de la madera alcanzo el máximo refinamiento artesanal y artístico. De las rudimentarias chozas de los primeros tiempos se derivaron durante la Edad Media diversos sistemas constructivos. Una primera modalidad peculiar de Inglaterra fue la casa de “crucks”. Según Echenique Ramón, nos presenta la siguiente definición. Los “crucks” eran piezas curvas

labradas de troncos de árboles de forma apropiada, con las cuales, partiéndolas por la mitad, se formaba una especie de arco. Estos arcos constituían los elementos existentes fundamentales (Mauricio, 2013). Conforme a los precitados autores, en las Islas Británicas ya para la edad media había una gran escases de madera, esto hizo que su utilización se limitara, en las iglesias y palacios se utilizaba mampostería convencional para los muros y se dejaba la madera para los techos.

De acuerdo a McKenzie (2011), el sistema estructural de las iglesias escandinavas que predominó de los siglos XI a XIV, se basaba en el uso de piezas verticales de carga rigidizadas en su parte superior por elementos formando algún tipo de triangulación. Para encerrar el espacio se utilizaban tablas. Generalmente los postes se apoyaban sobre zapatas de piedras en lugar de estar hincados directamente al suelo, como en edificios de épocas anteriores, lo que favoreció su durabilidad.

En cuanto al renacimiento autores como Buchanan (2008), en los países europeos donde floreció el renacimiento, sobre todo en Italia y Francia, aunque la piedra fue el material preferido para muros, se utiliza mucho la madera para los techos, aquí empieza a tener una gran importancia la construcción de armaduras que salven grandes claros.

En los siglos posteriores del renacimiento pueden observarse importantes cambios en el uso estructural de la madera. Con Galileo, Coulumb, Euler, Newton, Young, Hooke y otros se empieza a establecer los principios científicos (Buchanan, 2008), para el análisis racional del comportamiento de los materiales y de las estructuras. En Francia el conde Buffon prueba cientos de vigas de madera para el ministro de Marina de Luis XV. En 1792, Belidor publica “la science des Ingenieirs”, el primer texto sobre ingeniería con una base científica. En su obra Belidor,

fundándose en resultados experimentales, propone reglas para dimensionar vigas de madera (Zanni 2004).

Sin embargo, no es sino hasta el siglo XIX cuando se generaliza la aplicación de principios científicos al diseño de estructuras de maderas, con estos principios se construyen estructuras más esbeltas. El siglo XIX se caracteriza por la mecanización de la producción industrial, en donde la construcción se ve muy afectada, los clavos se producen en masa y por supuesto a unos costos más baratos, esto hace que se puedan hacer mejores uniones, la sierra eléctrica va reemplazando al hacha y esto hace que el proceso de aserrar madera se estandarice más.

Por otro lado, según Ortega, Vasconcelos, Rodrigues & Correia (2017), en el pasado, mientras que la madera como material de construcción natural se prefería solo para la construcción de viviendas, hoy en día, los productos de madera se utilizan como elementos estructurales incluso en muchos proyectos diferentes, como escuelas, terminales de aeropuerto, estadios o centros deportivos cubiertos y, finalmente, en múltiples casas de pisos en la actualidad. Por otro lado, la sostenibilidad se está convirtiendo en un foco clave. Los productos de madera sintética se utilizan cada vez más para la resistencia a los terremotos, así como para el aislamiento natural y el diseño sostenible.

La madera del milenio antes de Cristo se empleó ampliamente para fortalecer las porciones superiores de ladrillos de barro de las paredes en Anatolia y en Babilonia en las llanuras mesopotámicas. Kienzle (1998), en su investigación encontró que en los palacios de Knossos (citado por Kienzle, 1998), que en la construcción se utilizaban cordones de madera. Por lo tanto, "la fecha de lo que puede describirse razonablemente como construcción de mampostería con cordones de madera [se remonta] a una fecha tan temprana como 1500 a 2000 a. C. Una práctica

similar se encuentra en la Creta minoica y también en la arquitectura griega de la Edad de Bronce (Gülkan & Langenbach 2004). En el Levante, se recuperaron brechas largas y estrechas, de 6 a 10 cm entre las hileras de mampostería (tanto de piedra de campo como de sillares) en los edificios de la Edad del Hierro en Hazor, Samaria y Megiddo. lo que indica vigas de madera deterioradas. Esta técnica también se utilizó en las iglesias coptas de los siglos V y VI d.C. en Abu Mina, Bárbara y en Baouit (Wright 2005). En Egipto, así como en la antigüedad tardía en los Balcanes.

Así mismo, Rababeh, Mashaleh & Malaabeh (2010) consideran que en el sur de Arabia y Afganistán se utilizó durante los siglos X y XII, así como en edificios islámicos en El Cairo. Las vigas de madera se incrustaron en las hileras de la pared en intervalos, cada una de las cuales tiene aproximadamente 1,2 m de altura, en las casas de adobe del siglo XIX en Sariköy y Hacilar, cerca de Afrodiasias. Según Wright (citado por Rababeh et al., 2010). Las vigas de madera empotradas en ladrillos de barro y mampostería de piedra revestida eran casi universales en áreas sujetas a terremotos para unir la construcción cuando estaba sujeta a tensiones laterales (McKenzie 2011).

Los primeros ejemplos del uso de madera revestida en mampostería Los edificios de Petra fueron estudiados por primera vez por Ezekiel (1997) quien registró y examinó ejemplos construidos desde el siglo I aC hasta el siglo II dC. En estos ejemplos, la madera, como material de construcción, fue probablemente un dispositivo antisísmico que fue conservado por el clima seco de Petra durante casi dos milenios (Gülkan & Langenbach, 2004). En otros climas, la madera se erosionó dejando surcos, por lo que los ejemplos de Petra proporcionan una explicación para los surcos en otros lugares. Basado en esto, Rababeh (2005), demuestra que el ejemplo más antiguo que se conserva de este uso de la madera proviene de los cimientos de Qasr el-Abd en Irak el-Amir, construido a principios del siglo II a. C. Surcos, de 10 cm de ancho y 10

cm de profundidad, aparecieron en la segunda hilada de las paredes interiores de Qasr el-Abd que podría ser de influencia alejandrina.

La madera utilizada para las hileras de cuerdas en Qasr el-Bint se identificó como cedro (Rababeh, Hablan & Mashaleh (2013). Los precitados autores señalan que los cedros del Líbano eran el recurso maderero más importante de las tierras del Mediterráneo oriental. Vitruvio mencionó las buenas cualidades de los cedros que lo hacían duradero. Así mismo Ezekiel (1997), en el primer siglo antes de Cristo ya la madera jugaba un papel importante en la infraestructura.

No obstante, todo este avance tecnológico, en el siglo XIX la madera pierde el papel predominante como material de construcción porque es remplazada por los nuevos materiales que se producen en masa como el ladrillo y el concreto, se le deja un papel menos estructural a la madera, pero esto no quiere decir que desaparezca aún se encuentra en techos, por ejemplo.

En Europa, en general, a partir del Renacimiento, el uso de la madera tiende a decaer a medida que disminuyen los recursos naturales y aparecen nuevos materiales de construcción, en los Estados Unidos, la madera conserva considerable importancia hasta nuestros días, especialmente en la producción de viviendas.

En Estados Unidos más específicamente en Chicago se inició un sistema constructivo de “armazón de globo” (“balloon frame”), por su ligereza. El sistema que fue desarrollado alrededor de 1830, es una evolución de las casas de armazón (frame houses) de Nueva Inglaterra, en las que las piezas robustas de estas son sustituidas por piezas ligeras de sección estándar, unidas por clavos y dispuestas a distancias relativamente pequeñas.

En la actualidad, la vivienda asequible, segura y respetuosa con el medio ambiente es una necesidad humana básica y se ha convertido en la prioridad social de la mayoría de los países del mundo. Según Anderson (2002), la construcción con marcos de madera ha sido el pilar del mercado de viviendas residenciales de América del Norte durante unos 200 años. Se convirtió en lo que ahora se conoce como construcción de marco de plataforma, un sistema de construcción que está ganando aceptación en todo el mundo debido a su asequibilidad, rendimiento superior, belleza y flexibilidad en el diseño y la construcción.

Falk (2002), plantea que el notable crecimiento de los productos de madera en la última década constituye una de las historias de éxito de la industria de productos de madera. El éxito del sector ha sido impulsado por la tecnología que ha ampliado la gama de materias primas utilizables, el uso de la madera como infraestructura encaminada a minimizar riesgos sísmicos no solo ha sido efectiva en este aspecto, sino que también ha llegado a reducir costos, mejorado el rendimiento y ampliado las aplicaciones de la construcción de estructuras de madera.

Los desarrollos recientes en el proceso de diseño, producción y construcción han sido la incorporación de sistemas prediseñados de techos, pisos y paredes en el proceso de construcción convencional en el sitio y el rápido crecimiento de la construcción de viviendas prefabricadas, con paneles y modulares.

En este aspecto, Guy, Blois & Blanchet (2018), señalan que la asequibilidad y la calidad, la construcción del marco de la plataforma de madera ofrece un rendimiento superior en condiciones de terremoto. Las recientes mejoras en el diseño y los materiales han hecho que las estructuras de marcos de madera sean comparables a otros sistemas de construcción con respecto a la durabilidad y el comportamiento frente al fuego. Finalmente, el análisis del ciclo de vida de

diferentes materiales de construcción ha demostrado de manera inequívoca las ventajas ambientales de la construcción con madera. Esta huella ambiental más suave, junto con la capacidad de renovación de la madera, su capacidad para almacenar dióxido de carbono secuestrado y sus propiedades de aislamiento superiores, harán de la madera el material de construcción de elección en las próximas décadas.

El notable crecimiento de la madera como material estructural de edificaciones sismo resistentes en la última década constituye una de las historias de éxito de la industria de productos de madera para este sector, tal como lo señalan Gaston, Kosak, Connor & Fell (2001), que dicha tendencias, respecto al uso de la madera en el sector de la construcción, la fabricación de productos de madera también ha cambiado, con mayor énfasis en la descomposición de la madera en torones, chapas y componentes de fibra que luego se han reconstituido en madera nueva, paneles, y otros productos de construcción. Estos productos de madera de ingeniería tienen varios beneficios: tienen una alta uniformidad y propiedades de rendimiento bien definidas; requieren menos fibra para producir las mismas características de resistencia que la madera dimensional; acceden a una gama más amplia de materias primas, como álamos temblorosos y álamos híbridos; y permiten el uso de fibra de menor calidad. Ejemplos de esto, lo que se ha descrito en el ítem anterior, donde por medio de la consulta bibliográfica se aprecia como en países desarrollados como Nueva Zelanda, Canadá, Estados Unidos, Japón e Italia, entre otros, donde según Zanni (2004), la evolución de la madera ha sido notable y utilizada en aplicaciones estructurales incluyen madera unida con los dedos, madera de chapa laminada, madera laminada encolada, madera de hebras paralelas, madera de hebras orientadas, madera contrachapada y tablas de hebras orientadas. acceden a una gama más amplia de materias primas, como álamos temblorosos y álamos híbridos; y permiten el uso de fibra de menor calidad.

4.3 Características y Materiales derivados de la Madera Cuando se usa Como Material Estructural

4.3.1 Aspectos importantes de la madera. Autores como Kermani & Hairstans (2006), plantean que, para la durabilidad de las edificaciones por medio de estructura de madera, tanto constructores como usuarios que se ocupan de este tema deben conocer exactamente las propiedades de la madera. Siendo esta, un material orgánico, higroscópico y anisotrópico. Las propiedades térmicas, acústicas, eléctricas, mecánicas, estéticas, de trabajo, etc. son muy adecuadas para su uso, es posible construir una casa confortable utilizando solo productos de madera (Linnaeus 2006).

Conforme a Kermani & Hairstans (2006), existen una serie de características inherentes que hacen de la madera una construcción ideal. material. Estos incluyen su alta relación resistencia / peso, su impresionante récord de durabilidad y rendimiento y buenas propiedades aislantes contra el calor y el sonido. La madera también se beneficia de sus características de crecimiento natural, tales como patrones de vetas, colores y su disponibilidad en muchas especies, tamaños y formas que la convierten en un material notablemente versátil y estéticamente agradable. La madera se puede moldear y unir fácilmente con clavos, tornillos, pernos y tacos o unirlos con adhesivo.

En este mismo orden de ideas, Zakiah & Kazeroon (2016), indican que las limitaciones en las dimensiones máximas de las secciones transversales y las longitudes de las maderas aserradas sólidas, debido a los tamaños de los troncos disponibles y los defectos naturales, se superan gracias a los desarrollos recientes en los productos de madera compuesta y de ingeniería. La unión de dedos y diversas técnicas de laminación han permitido construir maderas (elementos y sistemas) uniformes y de alta calidad en cualquier forma, forma y tamaño; estando limitado

únicamente por los límites de fabricación y / o transporte.

Las estructuras de madera pueden ser muy duraderas cuando se tratan, se detallan y se construyen adecuadamente. Se ven ejemplos de esto en muchos edificios históricos de todo el mundo (Zakiah & Kazeroon 2016). Las estructuras de madera se pueden remodelar o alterar fácilmente, y si se dañan, se pueden reparar. Una extensa investigación realizada en las últimas décadas ha dado como resultado información completa sobre las propiedades materiales de la madera y sus productos reconstituidos y de ingeniería y sus efectos en el diseño estructural y el desempeño del servicio. Siglos de experiencia en el uso de madera en edificios nos han demostrado los métodos seguros de construcción, los detalles de conexión y las limitaciones de diseño. Una comprensión adecuada de las características físicas de la madera permite la construcción de estructuras de madera seguras y duraderas.

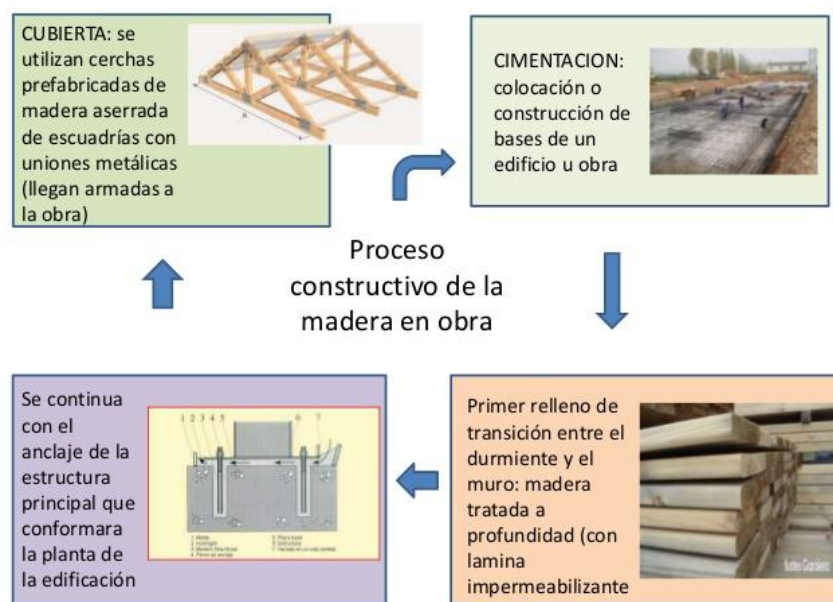


Figura 1. Procesos constructivos de la madera

Fuente: Slideshare, 2020.

En la figura 1 se puede apreciar el proceso constructivo que se pueda dar por medio de los diseños estructurales con madera. Se aprecia la diversidad de diseños y la forma en que esta debe utilizarse conforme a la estructura que se este trabajando.

Durante el proceso desde que se ubica la madera, hasta que esta es acerrada se debe tener en cuenta la estructura del tronco del árbol (ver figura 2), lo que proporciona rigidez, resistencia mecánica y altura para mantener la copa. El tronco resiste cargas debido a la gravedad y el viento que actúa sobre el árbol y también proporciona el transporte de agua y minerales desde las raíces del árbol hasta la copa. Las raíces, al esparcirse por el suelo y actuar como base, absorben los minerales que contienen humedad del suelo y los transfieren a través del tronco a la corona. La copa, compuesta de ramas y ramitas para sostener las hojas, proporciona un área de captación que produce reacciones químicas que forman azúcar y celulosa que provocan el crecimiento del árbol.

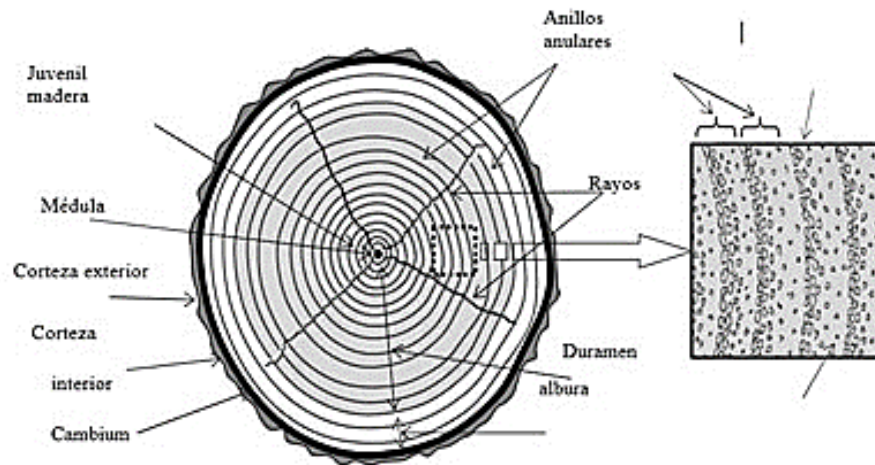


Figura 2. Sección transversal del tronco de un árbol

Fuente: Kermani & Hairstans, 2006.

Se observa en la figura 2 una sección transversal típica del tronco de un árbol, en la misma figura se ilustra las características principales, como la corteza, cuya parte exterior es una capa

bastante seca y corchosa y la parte interior viva. El cambium, una capa muy delgada de células debajo de la corteza interior, es el centro de crecimiento del árbol. Se forman nuevas células de madera en el interior del cambium (sobre la madera vieja) y se forman nuevas células de corteza en el exterior, aumentando así el diámetro del tronco. Aunque los troncos de los árboles pueden crecer hasta un tamaño grande, de más de 2 m de diámetro, las maderas disponibles comercialmente tienen más a menudo alrededor de 0,5 m de diámetro.

La madera, en general, está compuesta por células tubulares largas y delgadas. Las paredes celulares están formadas por celulosa y las células están unidas por una sustancia conocida como lignina. La mayoría de las células están orientadas en la dirección del eje del tronco, excepto las células conocidas como rayos, que corren radialmente a través del tronco. Los rayos conectan varias capas desde la médula hasta la corteza para el almacenamiento y transferencia de alimentos. Los rayos están presentes en todos los árboles, pero son más pronunciados en algunas especies como el roble. En países con un clima templado, un árbol produce una nueva capa de madera justo debajo del cambium en la primera parte de cada temporada de crecimiento. Este crecimiento cesa al final de la temporada de crecimiento o durante los meses de invierno. Este proceso da como resultado anillos concéntricos claramente visibles conocidos como anillos anulares, anillos anuales o anillos de crecimiento. En países tropicales, donde los árboles crecen durante todo el año, un árbol produce células de madera que son esencialmente uniformes. La edad de un árbol se puede determinar contando sus anillos de crecimiento (Jan 2012).

Jan (2012), las maderas duras, la diferencia en el contenido de humedad de la albura y el duramen depende de la especie, pero en las maderas blandas el contenido de humedad de la albura suele ser mayor que el del duramen. La fuerza y el peso de los dos son casi iguales. La albura tiene una resistencia natural más baja a los ataques de hongos e insectos y acepta

conservantes más fácilmente que el duramen.

Giulia (2020), en muchos árboles y particularmente en climas templados, donde una temporada de crecimiento definida existe, cada anillo anular se subdivide visiblemente en dos capas: una capa interior formada por células huecas relativamente grandes llamadas springwood o earlywood (debido al rápido crecimiento), y una capa exterior de paredes gruesas y pequeñas cavidades llamadas summerwood o latewood (debido al lento crecimiento). Dado que la madera de verano es relativamente pesada, la cantidad de madera de verano en cualquier sección es una medida de la densidad de la madera.

4.3.2 Características y materiales derivados de la madera usada en diseños estructurales. Como se muestra a continuación:

Tabla 2. Materiales y características de la madera y sus aplicaciones estructurales

Producto	Categoría	Solicitud	Tamaños comunes
Madera laminada	Laminado	. Vigas, columnas, cerchas, puentes, pórticos, sistemas de postes y vigas . Industrial, comercial, recreativo, residencial e institucional	Sin límites teóricos de tamaño, longitud o forma
LVL	Laminado	. Vigas, columnas, cubiertas de vehículos, marco de puerta y ventana, sistema de encofrado, bridas de viguetas I . Industrial, comercial, recreativo, residencial e institucional	Largo: hasta 24 m Ancho: 19–90 mm Profundidad: 200–600 mm hasta 2,5 m disponibles
TimberStrand	Compuesto	. Vigas, columnas, vigas de celosía, cabeceras, pórticos, sistemas de postes y vigas . Industrial, comercial, recreativo, residencial e institucional	Largo: hasta 14,6 m Ancho: 45–140 mm Profundidad: 1220 mm
Parallam	Compuesto	. Vigas, columnas, vigas de celosía, cabeceras, pórticos, sistemas de postes y vigas . Industrial, comercial, recreativo, residencial e institucional	Largo: hasta 20 m Ancho: 45–275 mm Profundidad: 200–475 mm
Viguetas	Sistema	. Viguetas de piso y techo, encofrado, bridas de techo, unidades de pared con montantes de carga, disponibles como sistemas completos (cassettes). . Industrial, comercial, recreativo, residencial e institucional.	Largo: hasta 15 m Ancho: 38–97 mm Profundidad: 0,2-0,6 m
Vigas de caja	Sistema	. Vigas y columnas . Edificios industriales y residenciales	Son posibles luces de 30 a 40 m con pórticos

Madera laminada encolada, glulam:

El Instituto Forest Products Laboratory (2010), en su manual *Wood as an Engineering Material*, en español: “Madera como material de ingeniería”, señala que la madera laminada encolada, glulam, se fabrica a partir de pequeñas secciones de tablas de madera (llamadas laminadas) unidas con adhesivos y colocadas de manera que la fibra de todos los laminados sea esencialmente paralela al eje longitudinal. Los laminados individuales tienen típicamente de 19 a 50 mm de espesor, de 1,5 a 5 m de longitud, se unen en los extremos mediante el proceso de unión de dedos como (ver figura 3) luego se colocan al azar en todo el componente de madera laminada.



Figura 3. Estructuras laminadas encoladas

Fuente: Americanlh, 2021.

Por otro lado, Kermani & Hairstans (2006), señalan que normalmente, los laminados se secan hasta un contenido de humedad de entre el 12 y el 18% antes de mecanizarlos y ensamblarlos. El encolado de bordes permite fabricar vigas más anchas y más grandes que las secciones disponibles comercialmente después de la unión de dedos. El ensamblaje se lleva a cabo

comúnmente aplicando una mezcla de adhesivo cuidadosamente controlada a las caras de los laminados. Luego se colocan en plantillas mecánicas o hidráulicas de la forma y tamaño apropiados, y se presurizan en ángulo recto con las líneas de pegamento y se mantienen hasta que se completa el curado del adhesivo. A continuación, se corta la madera laminada, se le da forma y se aplican los tratamientos de acabado y conservantes especificados (Kermani y Hairstans 2006).

Se utilizan perfiles de madera con un espesor de alrededor de 33 mm hasta un máximo de 50 mm. para laminar elementos rectos o ligeramente curvados, mientras que para laminar elementos curvos se utilizan secciones mucho más delgadas (12 o 19 mm, hasta aproximadamente 33 mm). Los miembros laminados encolados también se pueden construir con secciones variables para producir vigas, columnas, arcos y portales ahusados (Figura 1.8).

El laminado madera permite hacer coincidir la calidad del laminado con el nivel de esfuerzo del diseño. Las vigas se pueden fabricar con laminados de mayor calidad en las regiones exteriores altamente sometidas a tensión y con laminados de menor calidad en las partes internas. Estos conceptos combinados permiten que el recurso maderero se utilice de manera más eficiente.

Madera contrachapada:

La madera contrachapada es un panel plano que se hace uniendo y bajo presión, varias capas delgadas de chapa, a menudo denominadas capas (o laminados) (Muñoz 2012). El contrachapado fue el primer tipo de estructural utilizado en las edificaciones que se inventó. Los troncos se descortezan y se cuecen al vapor o se calientan en agua caliente durante aproximadamente 24 horas. A continuación, se pelan con rotación para formar chapas de 2 a 4 mm de espesor y se recortan en láminas de unos 2 m de ancho (Muñoz 2012). Después de secar en el horno y pegar,

las chapas se colocan con la veta perpendicular entre sí y se unen bajo presión en un número impar de laminados (al menos tres), como se muestra en la Figura 1.9a. Las capas exteriores, siempre hechas de chapa, se denominan caras (capa frontal o contrachapa) y las láminas interiores, que pueden estar hechas de chapas o madera cortada / aserrada, se denominan núcleo. Ejemplos de contrachapado con núcleo de madera incluyen tableros de bloques y tableros laminados, como se muestra en las Figuras 1.9c – 1.

En este mismo orden de ideas, conforme a Linnaeus (2006), la madera contrachapada se produce en muchos países a partir de madera blanda o dura o una combinación de ambos. Los contrachapados de grado estructural que se utilizan comúnmente en el Reino Unido son los siguientes:

Madera contrachapada industrial y de construcción estadounidense

Contrachapado de madera blanda canadiense y contrachapado de abeto Douglas

Contrachapado de abedul finlandés (combinado), contrachapado de abedul finlandés y conífera finlandesa madera contrachapada

Madera contrachapada sueca de madera blanda.



Figura 4. Madera contrachapada

Fuente: Alibaba, 2021.

Los tamaños de hoja de madera contrachapada disponibles son 1200 mm x 2400 mm o 1220 mm x 2440 mm. El revestimiento de la cara generalmente se orienta con el lado más largo de la hoja, excepto en el caso de los contrachapados de fabricación finlandesa en los que los revestimientos de la cara corren paralelos al lado más corto. La madera contrachapada estructural y la madera contrachapada para uso exterior generalmente se fabrican con adhesivo impermeable que es adecuado para condiciones de exposición severa.

Las propiedades estructurales y la resistencia de la madera contrachapada dependen principalmente del número y el grosor de cada capa, la especie y el grado y la disposición del individuo.

Madera de chapa laminada (LVL):

Contreras, Owen, Rosso & Contreras (2000), la madera de chapa laminada es un compuesto de madera de ingeniería fabricado laminando chapas de madera utilizando adhesivos de tipo

exterior. En la producción, se fabrica con chapas delgadas similares a las de la mayoría de los contrachapados. Las chapas, de 3 a 4 mm de espesor, se desprenden de troncos de buena calidad y se laminan verticalmente, pero a diferencia del contrachapado, las sucesivas chapas generalmente se orientan en una dirección de fibra común, lo que confiere propiedades ortótropas similares a las de la madera aserrada. Ciertos grados de la madera laminada también incluyen algunas hojas de chapa en su disposición en la dirección perpendicular a la dirección longitudinal del miembro para mejorar las propiedades de resistencia.

Conforme a Rolleri (2008), en los EE. UU., El LVL se fabrica a partir de especies como el pino amarillo del sur o el abeto de Douglas por Weyerhaeuser (iLevel TrusJoist) con el nombre de MicrollamR; y en Finlandia, LVL es fabricado a partir de abeto por Finnforest con el nombre de Kerto-LVL. Kerto-LVL se produce como un producto estándar cuando todas las carillas son paralelas y también como en el que aproximadamente una de cada cinco carillas está en la dirección perpendicular. Las dimensiones estándar de la sección transversal para Kerto-LVL.

Laminado hebra Tablas de madera (LSL):

El laminado hebra tablas de madera, se produce a partir de hebras de especies de madera (a menudo álamo temblón), de hasta 300 mm de largo y 30 mm de ancho, o combinaciones de especies mezcladas con un adhesivo a base de poliuretano (Rolleri 2008). Los cordones se orientan en dirección paralela y se conforman en esteras de 2,44 m de ancho por hasta 14,63 m de largo, de varios espesores de hasta 140 mm. A continuación, las esteras se prensan mediante inyección de vapor hasta obtener el espesor requerido.

PAGparalelo hebra tablas de madera (PSL):

El proceso de fabricación consiste en pelar troncos de diámetro pequeño para convertirlos en láminas de chapa (Hernández 2018). Luego, las carillas se secan hasta un contenido de humedad del 2–3% y luego se cortan en hebras largas y delgadas orientadas paralelas entre sí.

Según Hernández (2018), el proceso de encalladura reduce muchas de las características de crecimiento natural y resistencia de la madera, como nudos, bolsas de inclinación y pendiente de la veta. Esto da como resultado un material dimensionalmente estable que es más uniforme en características de resistencia y rigidez y también en densidad que sus maderas originales. Para unir cordones, se utiliza adhesivo estructural impermeable, mezclado con un componente encerado, y se vuelve a secar bajo presión en un proceso de microondas hasta dimensiones que miden 275 475 mm² de sección por hasta 20 m de longitud.

Tablero de fibra orientada (OSB):

Es un tablero estructural de ingeniería fabricado a partir de hebras de madera delgadas, escamas u obleas cortadas de troncos de madera redonda de diámetro pequeño y adheridas con un adhesivo de tipo exterior (que comprende 95% de madera, 5% de resina y cera) bajo calor y presión (Garay & Sandoval 2013).

Opazo & Segura (2012), los paneles OSB comprenden capas exteriores o superficiales que se componen de hebras orientadas en la dirección del panel largo, con capas internas que comprenden hebras orientadas al azar. Su fuerza se debe principalmente a su composición multicapa y a la orientación cruzada de las hebras. El uso de agua y resinas / adhesivos a prueba de ebullición proporciona fuerza, rigidez y resistencia a la humedad.

En el Reino Unido, OSB a menudo se denomina tablero Sterling o SterlingOSB. OSB tiene muchas aplicaciones y, a menudo, se usa con preferencia a la madera contrachapada como un panel más rentable, ecológico y dimensionalmente estable. Está disponible en varios espesores de 8 a 25 mm con tamaños de panel de hasta 2,4 m de ancho y 4,8 m de largo, lo que lo convierte en un producto atractivo para pisos, revestimientos de techos, revestimientos de paredes y para construcciones compuestas como SIP, etc.

Vigas palmeadas delgadas (vigas de caja):

Las vigas cajón comprenden bridas de madera maciza o glulam con vigas de madera contrachapada o OSB. Las almas se pegan generalmente a las pestañas de cada lado para formar una caja. Se pueden usar clavos, grapas accionadas por máquina para ayudar en la fabricación (Opazo & Segura 2012).

De manera similar a las viguetas en I, las partes más grandes de la sección transversal (bridas) de las vigas cajón están en la parte superior e inferior donde los esfuerzos de flexión son más altos. La viga de caja de madera contrachapada que muestra chapas en sus almas se puede utilizar como parte del acabado estético y de la estructura.

La sección transversal hueca del perfil de caja también permite que los servicios se ejecuten en el vacío. Dentro del miembro dando un acabado más limpio. También le da al miembro rigidez torsional, lo que lo hace más capaz de resistir el pandeo lateral por torsión o las tensiones debidas a cargas excéntricas.

Las vigas cajón se fabrican en profundidades de hasta 1,2 m. Los refuerzos de la red se utilizan para ayudar a controlar el pandeo por cizallamiento de la red y proporcionar ubicaciones

convenientes para las uniones a tope de la red; vea la Figura 1.16. También están ubicados en posiciones de cargas puntuales para contrarrestar el pandeo localizado de la banda. En las vigas de caja, las ubicaciones de las juntas de alma se alternan idealmente de lado a lado y lejos de las áreas de mayor esfuerzo cortante.

A diferencia de las vigas en I, que se producen en fábrica en sus secciones finales, actualmente no es posible comprar vigas de caja "listas para usar". Las vigas de caja normalmente se diseñan específicamente para cada requisito del contrato y se ensamblan en el sitio.

Paneles con aislamiento estructural (SIP):

Terreros & Gómez (2015), son paneles de construcción prefabricados producidos en fábrica que se pueden usar como componentes de paredes, pisos y techos en todo tipo de edificios residenciales y comerciales. Se desarrollaron en América del Norte y se han utilizado a gran escala en todo el mundo. El mayor beneficio del sistema es que el soporte estructural y el aislamiento se incorporan en un solo sistema durante la fabricación. Esto permite lograr una alta calidad, una eficiencia térmica más precisa y un mayor nivel de soporte estructural.

Están compuestos por un núcleo de aislamiento de espuma rígida, que se lamina entre dos capas de paneles de madera estructural (tableros) mediante adhesivos industriales. Este proceso produce un solo elemento de construcción sólido que proporciona cualidades estructurales y de aislamiento. Estos paneles se producen en diferentes tamaños y espesores según la aplicación y los requisitos térmicos / estructurales.

Los materiales utilizados para producir estos componentes de construcción pueden variar mucho tanto en el revestimiento estructural como en el núcleo de aislamiento interno. Los materiales comúnmente utilizados en el Reino Unido para los paneles son OSB grado 3 o madera contrachapada combinada con una variedad de espumas plásticas que incluyen poliestireno expandido, poliestireno extruido, uretano y otros núcleos aislantes similares.

Suelo de madera suspendido:

Un sistema de piso suspendido generalmente comprende una serie de viguetas estrechamente espaciadas, ya sea simplemente apoyadas en sus extremos o continuas sobre paredes divisorias de carga (Terreros & Gómez 2015). El entablado o la plataforma del piso se aplica en la parte superior de las vigas y se fijan los revestimientos debajo del techo. En la Figura 1.18a se muestra una disposición típica de piso suspendido.

La distancia entre los centros de las vigas normalmente se rige por el tamaño de los tableros de cubierta y techo, que normalmente están disponibles en dimensiones de 1200 mm de ancho y 2400 mm de largo. El tamaño de las tablas de la plataforma y el techo permite espacios convenientes entre las vigas de 300 mm, 400 mm o 600 mm de centro a centro. Además, la elección del espacio entre las vigas también puede verse afectada por la capacidad de extensión del material del piso, la luz de las vigas y otras restricciones geométricas, como una abertura para una escalera.

La plataforma de piso más común en viviendas domésticas y edificios con estructura de madera utiliza algún tipo de productos de paneles a base de madera, por ejemplo, aglomerado, OSB o madera contrachapada. Las plataformas de madera maciza, como las de madera blanda con lengüetas y ranuras, se utilizan a menudo en las construcciones de techos, junto con

miembros laminados encolados, para producir un techo de madera natural y agradable con luces claras entre los miembros estructurales principales. Los tableros de madera maciza se mecanizan normalmente a partir de secciones de 150 mm de ancho con espesores básicos de 38 a 75 mm.

Los soportes para viguetas se proporcionan en varias formas según el tipo de construcción. Las placas de pared de madera se utilizan normalmente para apoyar las vigas en la parte superior de las paredes y cimientos de mampostería. En situaciones en las que las viguetas deben apoyarse en muros con estructura de madera portante o particiones internas, se proporcionan vigas de cabecera o miembros esparcidores para distribuir uniformemente las cargas verticales. Los colgadores de viguetas se utilizan a menudo para sujetar y apoyar las viguetas en las vigas principales de madera, los miembros de la podadora o las paredes de mampostería.

Las viguetas de la podadora de madera se utilizan con frecuencia en los suelos de madera de todo tipo de instalaciones domésticas, edificios. Hay dos razones principales por las que se pueden proporcionar las viguetas de corte. Primero es recortar alrededor de una abertura, como un hueco de escalera o acceso a un desván (viguetas recortadoras A), y para soportar las viguetas entrantes (viguetas recortadoras B), y segundo es reducir el tramo de las viguetas del piso sobre vanos abiertos largos (viguetas recortadoras C). El recorte alrededor de las aberturas generalmente se puede lograr usando dos o más viguetas clavadas juntas para formar una viga recortadora o usando una sola viga.

4.4 Metodologías de Diseño de Estructuras de Madera y Tratamiento de Material Según su Uso, Normatividad y Control de Calidad

A continuación, se procede a describir dos métodos importantes en el área estructural de madera en el sector de la construcción. Para la construcción de estructuras de madera en

Colombia se debe tener en cuenta la norma NSR-1029. El título G establece los requisitos de diseño estructural para edificaciones de madera bajo la metodología de esfuerzos admisibles (ASD). Según la norma “Una edificación de madera diseñada y construida de acuerdo los requisitos del título G tendrá un nivel de seguridad comparable a los de edificaciones de otros materiales que cumplan los requerimientos del reglamento” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012, p.12).

Para lograr el nivel y la seguridad específicamente para madera estructural, existen requisitos generales de calidad, que logran que este material tenga las características adecuadas para su uso. Se hace referencia a madera estructural a los elementos que forman la parte resistente de muros, columnas, entrepisos y cubiertas (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012).

Un proceso importante en la producción de la madera es el aserrado, en el que se obtienen piezas de sección transversal cuadrada o rectangular, que comúnmente son llamadas bloques. Teniendo en cuenta esto se establecen dos categorías de madera aserrada de uso netamente estructural, las cuales son:

Estructural Selecta (E.S): Que según la norma “es empleada en elementos portantes principales, como columnas, vigas maestras, vigas de amarre, cerchas, arcos, pórticos, viguetas de piso, dinteles, pies derechos de paneles portantes, voladizos, escaleras, cimbras y formaletas” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012, p.1).

Estructura Normal (E.N): Según la norma “es empleada únicamente y como segunda alternativa, en elementos portantes secundarios, como correas, cuchillos, contravientos, riostras, separadores, remates, pie-de-amigos, tacos, puntales y elementos temporales” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012, p.33).

La madera usada debe poseer un sistema estructural que se ajuste a uno de los cuatro tipos que son de acuerdo a lo establecido en la NSR-1034:

Sistema de muros de carga.

Sistema combinado.

Sistema de pórtico.

Sistema dual.

Las especificaciones que se requieren para la construcción en madera, los casos en que se puede utilizar, los ensayos que se deben realizar para verificar, sus propiedades mecánicas, las dimensiones mínimas que se pueden utilizar y su manera de emplear, se encuentra en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Sin embargo, los parámetros de diseño que se utilizaron en la presente investigación, son las utilizadas en Estados Unidos, teniendo en cuenta que los métodos que se presentan a continuación son de ese país. Para ello se utilizó el manual Nacional de diseño y especificaciones para la construcción en madera NDS35, usado en Estados Unidos, que proporciona “los requisitos para el diseño de los productos de madera por los siguientes métodos: diseño de esfuerzos admisibles (ASD) y diseño de factores de carga y resistencia (LRFD)” (American Wood Council, 2015); teniendo en cuenta que el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en su título G, que no presenta ninguna variedad en los parámetros de diseño.

4.4.1 Método de diseño de esfuerzo permitido. El método de diseño de tensión permisible (ASD) se utiliza ampliamente para el diseño estructural de estructuras de madera. en los Estados

Unidos (ANSI, AF & PA 2005). El método se basa en estipular un esfuerzo máximo permisible en condiciones de servicio que incorpora un factor de seguridad. El factor de seguridad es la relación entre la carga máxima o el esfuerzo que puede soportar un miembro estructural antes de que falle a la carga permitida por el Código, y varía entre 1.5 y 2.0 para la mayoría de las estructuras de edificios. Esta tensión admisible debe ser mayor o igual que la tensión aplicada que se calcula sobre la base de un análisis estructural elástico.

El método ASD sigue el enfoque de que la tensión aplicada debe ser menor o igual que la tensión permisible especificada por el código. Las tensiones aplicadas se indican con una f minúscula y las tensiones admisibles se indican con una F mayúscula. Por ejemplo, la tensión de tensión aplicada paralela al grano $f_t (= P / A)$ debe ser menor o igual que la tensión de tensión admisible, paralelo al grano F'_t , donde:

$$F'_t = F_t / \phi$$

(producto de todas aplicable ajustamiento o C factores)

De manera similar, la tensión de flexión aplicada $f_b (= M / S_x)$ debe ser menor o igual a la flexión permitida F'_b , donde:

$F'_b = F_b / \phi$ (producto de todas aplicable ajustamiento o C factores) En general, la tensión admisible se da como:

$$F' = F / \phi$$

(producto de todos los ajustes aplicables o C factores) (Willenbrock, 1998).

Los factores de ajuste o C aplicables se pueden observar en las siguientes tablas. Los valores de diseño tabulados F / ϕ dados en el Suplemento NDS (NDS-S) (ANSI, AF & PA 2005) asumen una duración de carga normal y condiciones de uso en seco.

Tabla 3. Aplicabilidad de los factores de ajuste para la madera

	Factor de duración de carga	Servicio húmedo	Factor de temperatura	Estabilidad del haz Factor	Factor de	Factor de uso plano	Inciisión Factor	Repetitivo Factor de miembro	Columna Factor de estabilidad	Factor de rigidez al pandeo	Factor de área de rodamiento
F_2	=	CD	Cuatro C_t	C_t	C_F	C_u	C_i	C_r	—		
Pensión completa	×	CD	Cuatro C_t	-	C_F	-	C_i	—			
$F_1 = P_{ie}$	×	CD	Cuatro C_t	—			C_i	—			
$F_3 = F_y$	×										
$F_{tL} = F_{cL}$	×	-	CM	C_t	—		C_i	—			C_b
$F_c' = F_c$	×	CD	Cuatro C_t	-	C_F	-	C_i	-	CP	-	-
$m_i' = E$	×	-	CM Connecticut	C_t	—			C_i	—		
$m_{min}' = m_{min}$	×	-	CM	C_t	—		C_i	—		Connecticut	

Fuente: American Wood Council, 2015.

Esfuerzos de diseño tabulados NDS:

Los valores de diseño tabulados de NDS se basan en un valor de exclusión del 5% de los valores de resistencia de la madera clara con un factor de reducción o una relación de resistencia de menos de 1.0 para tener en cuenta los efectos de las características reductoras de la resistencia, como el tamaño del nudo, la pendiente de la veta, fracturas, cheques y batidos. Un valor de exclusión del 5% implica que es probable que cinco de cada 100 piezas de madera tengan una resistencia menor que los valores tabulados en NDS-S. Solo el módulo elástico y la tensión de compresión perpendicular a la fibra se basan en valores medios. El efecto combinado de la relación de resistencia y otros factores de ajuste en los factores de seguridad de rendimiento de la resistencia de madera clara con exclusión del 5% para la madera que van desde 1,25 a 5,0, con valores medios de aproximadamente 2,5.

Tabla 4. Aplicabilidad de los factores de ajuste para madera laminada encolada

	Factor de duración de carga	Servicio húmedo	Factor de temperatura	Estabilidad del haz Factora	Volumen Factorial	Factor de uso plano	Factor de curvatura	Columna Factor de estabilidad	Factor de área de rodamiento
F'B = Pensión completa ×	CD	CM	Connecticut	CL	CV	Cfu	C	Cfu	Cc -
F't = Pie ×	CD	CM	Connecticut	-	-	-	-	-	-
F'v = Fv ×	CD	CM	Connecticut	-	-	-	-	-	-
F'C± = Fc⊥ ×	-	CM	Connecticut	-	-	-	-	-	Cb
Fc' = Fc ×	CD	CM	Connecticut	-	-	-	-	CP	-
mi' = E ×	-	CM	Connecticut	-	-	-	-	-	-
mi'min = mimin ×	-	CM	Connecticut	-	-	-	-	-	-

Fuente: American Wood Council, 2015.

Tabla 5. Factores de reducción de fuerza

Reducción de fuerza		
Factores	Estado limite	estado limite
Esfuerzo de flexión, Fb	0.48 Último	fuerza
Tensión paralela a la fibra, Ft	0.48 Último	fuerza
Compresión paralela a la fibra, Fc	0.533 Último	fuerza
Cizalla paralela a la fibra, Fv	0,247 Último	
fuerza Compresión perpendicular a la fibra, b Fc⊥	0.6670.04	
pulg. deformación límite proporcional	Módulo de elasticidad a flexión, b mi	1.0 Elástico o

Fuente: American Wood Council, 2015.

La tensión permisible perpendicular al grano se controla mediante un estado límite de deformación y no por rotura por aplastamiento. Bajo carga perpendicular al grano, el miembro continúa soportando una carga creciente debido a la densificación del miembro. El código NDS establece un 0,04 pulg. Límite de deformación para la determinación de F'cI.

Factores de ajuste de estrés:

Los diversos factores de ajuste de tensión que se utilizan en el diseño de madera y que se analizan en este capítulo se enumeran en la Tabla 6.

CD de factor de duración de carga:

La madera es susceptible a la fluencia y continúa deformando bajo carga constante debido a la pérdida de humedad de las paredes de la celda y cavidades del miembro de madera. Esta propiedad de fluencia de la madera se tiene en cuenta para determinar la resistencia de un miembro de madera mediante el uso del factor de duración de la carga. El término duración de la carga designa el tiempo total acumulado durante el cual se aplica una carga durante la vida útil de la estructura, y cuanto más corta es la duración de la carga, más fuerte es el miembro de madera. El factor de duración de la carga CD convierte los valores de tensión para la duración normal de la carga en diseño valores de tensión para otras duraciones de carga. El código NDS define la duración normal de la carga como

10 años, lo que significa que la carga se aplica a la estructura por una duración máxima acumulativa de 10 años, y el factor de duración de la carga para esta duración normal de carga es 1.0. Los factores de duración de carga para otros tipos de cargas se dan en la Tabla 6.

Para cualquier combinación de carga, el factor de duración de carga gobernante CD será el valor que corresponda a la carga de menor duración en esa combinación de carga.

Tabla 6. Factores de ajuste

Ajustamiento	Factor Descripción
<i>CD</i>	Factor de duración de carga
<i>CM</i>	Servicio húmedo o factor de humedad
<i>CF</i>	Factor de tamaño
<i>UFC</i>	Factor de uso plano
	<i>Connecticut</i> Factor de temperatura
<i>Cr</i>	Factor de miembro repetitivo
<i>Ci</i>	Factor de incisión
<i>CP</i>	Factor de estabilidad de la columna
<i>CL</i>	Factor de estabilidad del haz
<i>CV</i>	Factor de volumen (se aplica solo a madera laminada)
<i>Cb</i>	Factor de área de apoyo
<i>Cc</i>	Factor de curvatura

Fuente: American Wood Council, 2015.

Valor es igual al valor de CD más grande en esa combinación de carga. Cabe señalar que el código NDS recomienda un factor de duración de carga de 1.6 para cargas sísmicas y de viento, en lugar del 1.33 de los códigos más antiguos, para reflejar la duración muy pequeña de estas cargas. Por ejemplo, las presiones de ráfagas de viento de 3 segundos ahora se usan en códigos modernos como IBC y ASCE para cálculos de carga de viento, lo que refleja una duración de carga menor que las presiones de viento usadas en códigos más antiguos como el Código Uniforme de Construcción (UBC). Sin embargo, algunas jurisdicciones aún pueden insistir en que se use un factor de duración de carga de 1.33 en esa localidad, por lo que se recomienda al lector que consulte con el examinador de planos de construcción local en su jurisdicción para conocer el factor de duración de carga apropiado para la carga de viento en esa área.

Tabla 7. Factores de duración de carga

Tipo de carga	Carga acumulada Duración	Factor de duración de carga, CD
Peso muerto	Permanente	0,9
Carga viva del piso	10 años o duración normal	1,0
Carga de nieve	2 meses	1,15
Carga viva del techo	7 días	1,25
Carga de construcción	7 días	1,25
Viento	10 minutos	1,6
Sísmico (terremoto)	10 minutos	1,6
Impacto	1 segundo o menos	2,0

Fuente: American Wood Council, 2015.

Factor de humedad CM:

La resistencia de un miembro de madera se ve afectada por su contenido de humedad. Cuanto mayor sea el contenido de humedad, más susceptible a la deformación es el elemento de madera y, por tanto, menor será la resistencia de la madera. Las tensiones de diseño tabuladas en NDS-S se aplican a la madera secada en la superficie (S-dry) utilizada en condiciones de servicio secas. Los ejemplos incluirán miembros de madera interior S-dry utilizados en edificios cubiertos y aislados. La condición S-dry indica un contenido máximo de humedad del 19% para la madera aserrada y menos del 16% para la madera laminada encolada (glulam). El factor de humedad CM para aserrado

La madera aserrada y laminada se muestra en la Tabla 8.

Factor de tamaño CF.

Tabla 8. Factor de humedad CM para madera aserrada y laminada

Contenido de humedad de equilibrio <i>EMC (%)</i>	Factor de humedad, <i>C_{METRO}</i>
Aserrado Tablas de madera ≤ 19 (es decir S-seco) 1.0	≤
> 19 Utilizar laminada	CM valores de las tablas 4A a 4F de NDS-S, según corresponda Madera <16 (es decir, S-seco) 1.0
≥ 16 Uso	CM valores de las tablas 5A

Fuente: American Wood Council, 2015.

El factor de tamaño tiene en cuenta el efecto del tamaño del miembro estructural sobre la resistencia del miembro de madera. A medida que aumenta la profundidad de un miembro de madera, la desviación de la distribución de tensión de la distribución de tensión lineal supuesta se vuelve más pronunciada, lo que lleva a una reducción en la resistencia del miembro de madera. El factor de tamaño CF se aplica solo a la madera aserrada y no aplicable al pino del sur (o pino amarillo del sur), laminado o con clasificación de tensión mecánica (MSR)

Tablas de madera. La tabla 9 los factores de tamaño para las diversas clasificaciones de tamaño de la madera aserrada.

Factor de miembro repetitivo Cr

Tabla 9. Factor de tamaño CF para madera aserrada

Clasificación de tamaño	factor de Tamaño C_T
<p>Dimensión de madera, utilizar</p> <p>Maderas: viga y larguero (B&S), poste y</p> <p>mader B&S (P&T)</p>	<p>CF de las tablas 4A, 4B, 4E y 4F de NDS-S</p> $CF = \left(\frac{12}{L} \right)^1 \leq 1.0$ <p>donde d es la profundidad real del miembro, en pulgadas. Para las cargas aplicadas a B&S, consulte la Tabla 4D de NDS-S</p>

Fuente: American Wood Council, 2015.

El factor repetitivo se aplica solo a los elementos de flexión colocados en serie y tiene en cuenta la redundancia en un techo, piso o estructura de pared. Tiene en cuenta el hecho de que, si se satisfacen ciertas condiciones, la falla o reducción de la resistencia de un miembro flexible, en serie con otros miembros adyacentes, no necesariamente conducirá a la falla de todo el piso o sistema de paredes debido a la capacidad de la estructura. para redistribuir la carga de un miembro fallado a los miembros adyacentes. Ejemplos de miembros repetitivos incluyen vigas y vigas de techo o piso, vigas construidas, vigas y columnas. Para que un elemento estructural de madera se clasifique como repetitivo, se deben cumplir todas las condiciones siguientes:

Hay al menos tres miembros paralelos de madera dimensional.

El espacio entre los miembros no es mayor de 24 pulg. En los centros.

Los miembros están conectados o atados entre sí por techo, piso o revestimiento de pared (por ejemplo, madera contrachapada).

Si un miembro es repetitivo, el factor de miembro repetitivo C_r es 1,15, y para todos los demás casos, C_r es 1,0. El factor de elemento repetitivo C_r no se aplica a las maderas (es decir, vigas y largueros y postes y vigas) o madera laminada. El factor de miembro repetitivo se aplica a los esfuerzos de flexión de NDS-S únicamente y ya se ha incorporado en el esfuerzo de flexión tabulado ($F_b C_r$) para la plataforma que se indica en la tabla 10 de NDS-S.

Tabla 10. Factor de incisión

Valor de diseño	factor de incisión C
m_i, E_{min}	0,95
<i>Pensión completa</i> , F_t, F_c, F_v	0,80
$F_{c\perp}$	1,00

Fuente: American Wood Council, 2015.

A medida que el borde superior se mueve hacia los lados, el borde inferior, que está en tensión, tiende a moverse hacia los lados en la dirección opuesta, y esto hace que la viga se tuerza si los extremos de la viga están restringidos. Esta tendencia a torcerse se denomina pandeo lateral por torsión, y debe tenerse en cuenta que, si los extremos de la viga no están restringidos, la viga se volverá inestable y podría volcarse. Sin embargo, generalmente siempre se proporcionan restricciones laterales, al menos en los soportes de las vigas. Generalmente, si el borde de compresión de un miembro flexural se refuerza continuamente con una plataforma o un revestimiento de madera contrachapada, la viga no será susceptible al pandeo lateral por torsión y el factor de estabilidad de la viga será 1.0 en este caso.

4.4.2 Método diseño de factor de carga y resistencia (LRFD). Las disposiciones de diseño de tensión permisible (ASD) para conexiones de madera estructurales se encuentran en la

Especificación Nacional de Diseño para Construcción de Madera NDS 86 (Nacional 1986), conocida como NDS-86, o Especificación Nacional de Diseño para Construcción de Madera NDS-91 (Nacional 1991), conocida como NDS-91. Se han desarrollado criterios para el diseño de factores de carga y resistencia (LRFD) de conexiones de madera de ingeniería. En comparación con NDS-86, los criterios de conexión LRFD difieren como resultado de tres factores principales y numerosas mejoras menores. El primer factor importante es la consecuencia del proceso de conversión de formato de ASD a LRFD (Escala, 2006). Un segundo factor es la implementación de nuevas ecuaciones de comportamiento para la fuerza de la conexión. Estas ecuaciones son el resultado de la aplicación de la investigación europea sobre la mecánica de las conexiones y una revisión y recopilación exhaustivas de datos de una amplia variedad de fuentes. Estas ecuaciones de comportamiento también se han introducido en ASD en la edición de 1991 de las especificaciones nacionales de diseño (National, 1991). El tercer factor principal es la calibración de las predicciones de las nuevas ecuaciones de comportamiento a los niveles históricos de fuerza de ASD.

La resistencia de la conexión de madera depende tanto del conector como de los materiales conectados. Por ejemplo. Con la carga axial de los tirafondos, la conexión puede fallar debido a una inadecuada resistencia a la tracción del sujetador, vástago con resistencia a la tracción o resistencia a la tracción de la cabeza del material debajo de la cabeza del tornillo. Para la carga lateral de conexiones con sujetadores tipo clavija, el EYM requiere resistencias F_e a los soportes de clavija para cada miembro y el rendimiento del sujetador F_y .

Pasador-Bearingramo Fuerza Fmi:

Una nueva propiedad del material, la resistencia a las clavijas (Fe), se define como la resistencia a la compresión de la madera (u otro material) debajo de un sujetador tipo clavija. Para conexiones cargadas en ángulo con respecto al grano, el valor de Fe apropiado se encuentra aplicando la conocida fórmula de Hankinson. Esto es más conveniente y da esencialmente los mismos resultados que aplicar la fórmula de Hankinson al resolver el límite elástico de la conexión (Piedrahita, 2018).

La resistencia de un material al soporte de la clavija se puede determinar mediante una simple prueba de compresión de una clavija en un medio orificio pretaladrado. Para tacos grandes (por ejemplo, pernos o tirafondos), el orificio es de 1,6 mm (1/16 pulg.) De mayor tamaño. Para clavijas pequeñas (por ejemplo, clavos o tornillos para madera), el tamaño del orificio es menor para imitar la acción de clavar. Piedrahita (2018) describe el desarrollo de estos procedimientos de prueba. Se ha redactado una norma ASTM y los métodos se encuentran actualmente en revisión. Con estos procedimientos, y confirmando las pruebas de conexión, un fabricante de materiales estructurales compuestos puede calificar productos para uso de diseño.

Reymundo (1996), quien desarrolló la ecuación empírica original de la fuerza del pernociones, encontró que, para pequeñas relaciones de longitud de perno a diámetro, la proporcional La tensión límite bajo el sujetador era una fracción bastante constante de la resistencia a la compresión de la madera paralela a la fibra. Para la carga perpendicular a la veta, Trayer modificó la tensión límite proporcional de la madera clara por un factor que tiene en cuenta los efectos del diámetro. Dado que la resistencia a la compresión de la madera está relacionada con la densidad, la resistencia al soporte de la espiga determinada experimentalmente

está directamente relacionada con la gravedad específica de la madera. Wilkinson (1991), desarrolló las relaciones, que se muestran en la Tabla 11, que se utilizan en la NDS de 1991 y la especificación LRFD para productos de madera maciza.

Tenga en cuenta que el F_e no depende del diámetro de la clavija para los sujetadores de tipo clavija pequeños, pero sí lo es para las clavijas grandes. Esto es consistente con la práctica actual que no reconoce las diferencias entre la carga de clavos paralela y perpendicular al grano. Picos y tornillos para madera, pero lo hace para tornillos y así sucesivamente. Minchán (2018), muestran que la transición de "pequeño" a "grande"

Los efectos de la clavija, con respecto al F_e , dependen del diámetro y de la especie. Esto se ha tenido en cuenta al establecer los valores de F_e apropiados.

Tabla 11. Relaciones de gravedad específica de la resistencia de la espiga

Sujetador (1)	Ángulo al grano (2)	Ecuación (3)
Clavos, púas, madera tornillos	Todos los ángulos de grano Paralelo a	$F_{mi} = 16.600G^{1.84}$
Pernos, tirafondos, grandes	grano	$F_{mi} = 11.200G$
clavija	Perpendicular al grano	$F_{mi} = 6.100G^{1.45}D^{-.5}$
Pernos tirafondos, espiga grande		

*Nota: G = gravedad específica sobre la base de peso y volumen de secado al horno. D = diámetro nominal del vástago en pulgadas.

Fuente: American Forest & Paper Association, 1996.

Fuerza de rendimiento del sujetador F_y :

Thmi cederD fuerzah oF thmi fastener F_y (onorte a 5960base de compensación) se pueden encontrar mediante pruebas de flexión. En ausencia de datos extensos, se supone 310 MPa (45 ksi) como la flexión F_y de pernos de acero comunes. Esto ha sido un implícito su posición con TEA durante más de 50 años, y no está contraindicado por recientes investigación de Sáenz (2014) y Barrantes (2010), proporciona información sobre la flexión F_y de los clavos de alambre

comunes. Sus estudios concluyeron que para los clavos de alambre comunes una flexión promedio $F_y = 896-58D$ (Vinueza 2018), donde D es el diámetro en mm y F_y en MPa. ($F_y = 130-214 (D)$, donde D es el diámetro en pulgadas y F_y en ksi). Para un clavo 16d nominal con $D = 4,1$ mm (0,162 pulg.), Entonces $F_y = 130-214 (0,162) = 657$ MPa 95 ksi. Tenga en cuenta que F_y se define sobre una base de compensación de diámetro del 5%.

Es interesante notar que el uso de EYM, y por lo tanto F_y , se enfoca igual atención a las propiedades del sujetador y las de los miembros conectados. Esto requiere que las especificaciones de construcción para las conexiones de madera de ingeniería se redacten con más cuidado con respecto a los sujetadores, e indica que se necesita un diálogo adicional con la industria de fabricación de sujetadores para mejorar la información disponible para el diseñador. Sin embargo, el uso de EYM abre nuevas oportunidades para que los diseñadores aprovechen los sujetadores con propiedades mejoradas para optimizar el diseño de la conexión.

Específico gravedad gramo:

Las relaciones de gravedad específica-especie son importantes debido a la amplitud de las especies que se pueden usar para la construcción en los EE. UU. A través de G , una resistencia nominal a la extracción del vástago o la resistencia al soporte de la clavija se puede asignar a cada especie o grupo. Hay dos métodos para identificar un G promedio (basado en el peso y el volumen de secado al horno). Para aquellas especies que fueron probadas en el Programa Nacional de Pruebas de Grado (Juan 2012), el G promedio resultante de las pruebas de estructuras seleccionadas y no. Se adoptan 2 grados de madera. Para grupos de especies, G se basa en los criterios de agrupación ASTM D1990 (“Estándar” 1991a) para propiedades medianas o el G promedio de las especies de menor densidad en el grupo. Para especies no probadas. Se

utiliza la G media de los datos de madera clara utilizando métodos de ASTM D2555 ("Norma" 1989b) y ASTM D2395 ("Norma" 1991b). Al combinar varias especies no probadas en un grupo.

Criterios de diseño basados en datos:

Disposiciones de diseño de tensión admisible para conexiones como clavos, tornillos y tirafondos en extracción axial, placas de corte / anillos partidos bajo carga lateral, así como la mayoría de los factores de ajuste para la humedad, y los factores geométricos se derivan directamente de datos empíricos.

Factores de ajuste:

La mayoría de los factores para ajustar la fuerza de la conexión para las condiciones de uso final se basan directamente en los resultados de la investigación. Como parte del esfuerzo de desarrollo del LRFD, revisamos los datos que respaldan estos criterios y, en general, no encontramos ninguna razón de peso para el cambio en la práctica. Las principales excepciones fueron cambios menores en los factores geométricos de penetración y cierta simplificación de los factores de efecto de la humedad y la temperatura. Además, se modificó el factor de acción de grupo, o de cierre múltiple, para presentar una interpretación más fiel de la investigación de apoyo que la tradicional. Zahn (1991), analiza esto con más detalle. En ausencia de cualquier indicio de que la práctica del diseño fuera demasiado conservadora o no, decidimos dejar los ajustes en sus niveles históricos. Observamos que algunos de estos factores de ajuste ahora se aplican a los criterios basados en el rendimiento, mientras que se establecieron para el límite proporcional u otros criterios. La confirmación de muchos factores de ajuste debe incluirse en una agenda de investigación futura.

Fuerza axial:

Al revisar los datos de apoyo para la resistencia a la extracción del vástago axial de clavos, tornillos y tirafondos, descubrimos que se podría agregar información de investigación adicional para mejorar el nivel de confianza en los modelos empíricos basados en regresión. Estos cambios se documentarán en un documento separado. Un ejemplo de beneficio de este nuevo análisis se ve en la figura 4, que muestra que los clavos, tornillos y tirafondos de resistencia axial previstos son consistentes entre sí. Previamente, el desarrollo por separado de las ecuaciones de comportamiento para los tres tipos de sujetadores resultó en algunas inconsistencias al comparar la resistencia de sujetadores con diámetro similar.

Ecuaciones de interacción:

La carga axial y lateral combinada es común para muchos tipos de conexión. En NDS-86, los efectos interactivos se reconocen formalmente solo para tirafondos. En la especificación LRFD, se realizaron dos cambios. Primero, se instituyó un criterio de interacción para clavos, púas y tornillos para madera. Esto puede expresarse como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{Z_{n,\theta} \sin^n \theta}{Z_{n,lateral}} + \frac{Z_{n,\theta} \cos^n \theta}{Z_{n,axial}} \leq 1$$

Dónde $Z_{n,\theta}$ = fuerza nominal de la conexión cargada en un ángulo θ al eje del sujetador, donde 0° es la carga lateral y 90° es la carga axial; $Z_{n,lateral}$, $Z_{n,axial}$ = resistencia nominal de la conexión en carga lateral y axial, respectivamente, ajustada para todas las condiciones de uso final; y $n = 1$ para clavos, púas y tornillos para madera. Salinas (2007), recomendó un exponente de la unidad ($n = 1$), quienes estudiaron los efectos de interacción en las uniones clavadas. También ha sido confirmado por investigaciones alemanas (Escala 2006) sobre uñas de mango

liso. Los datos limitados no publicados sugieren que los tornillos para madera se comportan como clavos y púas con respecto a la fuerza de interacción axial y lateral.

Formato conversión:

Los valores de diseño se derivan de estimaciones de resistencia a corto plazo utilizando las ecuaciones de comportamiento. Sáenz (2014), describe la metodología general utilizada para establecer la resistencia nominal de los elementos estructurales de madera como vigas y columnas. Para las conexiones, la derivación de la resistencia difiere del enfoque general en varios aspectos. Primero, no se utilizó un análisis de confiabilidad explícito para desarrollar la resistencia nominal. Es decir, el factor de normalización de confiabilidad K_r se estableció en la unidad para las conexiones. Esta desviación se debió, en parte, a la falta de datos en un amplio espectro de tipos de conexión y geometrías con las que hacer algo más que una estimación superficial de K_r . Más preocupante es el impacto combinado en el diseño de cambiar las ecuaciones de comportamiento para la fuerza de la conexión y el formato de verificación de seguridad. Como Barrantes (2010), señala que solo con la conversión de formato hay un solo caso de diseño en el que habrá bragas exactas entre LRFD y ASD. En todos los demás puntos del espacio de diseño, se producirá algún cambio. Esto se suma a los cambios que resulten de la adopción de nuevas ecuaciones de comportamiento.

Con los datos disponibles, encontramos una confianza razonable en las estimaciones de la fuerza media. Sin embargo, no pudimos afirmar con confianza una estimación de una resistencia del percentil quinto inferior o un valor nominal bajo similar, según los datos. Esto se debe, en parte, a los datos de fuerza limitada disponibles en las condiciones de referencia y a la observación de que todos los factores de ajuste están respaldados por datos. se basan en la media.

Un problema adicional es que la mayoría de los datos de investigación de conexiones provienen de estudios en los que la variación se minimizó intencionalmente para reducir el tamaño de muestra necesario. Sospechamos que la mayoría de los datos disponibles actualmente pueden no ser representativos de la fuerza de las conexiones de campo, en términos de la varianza observada. En consecuencia, el análisis distributivo y las estimaciones de percentiles de resistencia más bajos son sospechosos, excepto en algunos casos limitados. Barrantes (2010), examina la confiabilidad de algunas conexiones atornilladas en términos de resistencia máxima y combinación de una carga. Con la adopción de EYM, los esfuerzos futuros pueden permitir un análisis de confiabilidad significativo adicional.

Para las conexiones, el desarrollo de una resistencia nominal de referencia requiere la forma de:

$$Z = \frac{\sum \gamma_i Q_i \cdot \text{DOL} \cdot \frac{c}{\lambda \phi_c} \cdot \frac{1}{C_p} \cdot Z^*}{\sum Q_i}$$

Dónde = efectos de carga factorizados y no factorizados, respectivamente; DOL Duración ASD del factor de carga: c, Cpag = producto acumulativo de ASD y Factores de ajuste LRFD, respectivamente; $\phi = 0,65$ para conexiones; y Z^*

= ASD nominal o capacidad equivalente de la conexión. El factor de resistencia z se estableció para ser coherente con el factor de resistencia para miembro fuerza.

Definir Z^* en (4) como la fuerza de la conexión ASD o su equivalente implica que el nivel de La seguridad en las disposiciones de ASD es satisfactoria para los criterios de LRFD. El desarrollo de Z fue un proceso de dos pasos. El paso 1 fue calibrar las nuevas ecuaciones de comportamiento a los niveles de seguridad de ASD y determinar Z^* . El paso 2 fue aplicar la

conversión de formato a través de (4) para llegar a Z. Tenga en cuenta que el primer paso se realizó junto con un cambio simultáneo en los criterios de diseño de ASD. En la medida de lo posible, se incorporaron factores de ajuste comunes y ecuaciones de comportamiento en las especificaciones de 1991 NDS y LRFD para minimizar las grandes diferencias entre los resultados futuros de ASD y LRFD.

Piedrahita (2018), discute los efectos en el diseño de cargas factorizadas y un cambio en los efectos del tiempo. Esto no se repite aquí, excepto para señalar que se aplica a las conexiones el mismo punto de conversión de formato y el mismo factor de efectos de tiempo desarrollado para los miembros. Existe una creciente evidencia de que los conceptos de daño acumulativo basados en materiales desarrollados para la madera pueden no aplicarse a las conexiones (Minchán, 2018). Sin embargo, la evidencia aún no es lo suficientemente convincente como para eliminar la inclusión conservadora de A en la ecuación de verificación de seguridad para conexiones mecánicas. Sin embargo, no se permite ningún aumento en la capacidad de conexión para cargas de impacto.

5. Conclusiones

El estudio realizado permite observar la importancia de la madera en los diseños estructurales desde épocas antiguas hasta la fecha. Conforme a estudios consulados se encontró que la madera se utiliza cada vez más para la resistencia a los terremotos, anti sismos, así como para el aislamiento natural y el diseño sostenible. Estudios recientes indican que el diseño resistente a través de productos de madera es alcanzable y asequible. El diseño sísmico de estructuras generalmente depende de la ductilidad de los miembros y las conexiones.

Por otro lado, las innovadoras técnicas de diseño con compuestos de madera garantizan que el edificio sea funcional ante cual evento sísmico. Dentro del alcance de este estudio, los enfoques de diseño resistente y los resultados en estudios encontrados como Nueva Zelanda, Canadá, Estados Unidos, Japón e Italia, se abordan para sistemas estructurales de madera de varios pisos.

Se han propuesto criterios de diseño de factores de carga y resistencia para conexiones en construcciones de madera sintética. Coincidente con una conversión de formato. Se han introducido en la especificación nuevas ecuaciones de comportamiento para la fuerza de la conexión. Se han incorporado ecuaciones similares en las disposiciones de diseño de esfuerzos permisibles.

De igual forma, se aprecia que por medio de las metodologías descritas se han definido las propiedades apropiadas del material y se han identificado los valores para la el uso de la madera en diseños estructurales madera. Los métodos, permite identificar los niveles de seguridad que se establecen mediante calibración según los criterios de ASD sin el uso de análisis de confiabilidad. El punto de conversión de formato para elementos estructurales también se utilizó para conexiones con factor de resistencia.

Por otro lado, se logró describir las fuerzas de conexión LRFD, las cuales son para cargas de corta duración. El cambio en la fuerza del diseño de las conexiones puede deberse a la conversión de formato, nuevas ecuaciones de comportamiento o calibraciones a la práctica histórica. Estos efectos se han minimizado, pero algunos son necesarios para igualar los niveles de seguridad en el espacio de diseño conforme a lo planteado en dicho método.

Referencias Bibliográficas

- Acuña, L., Basterra, L., Casado, M., López, G., Ramón, G., Relea, E., et al., (2011). Aplicación del resistógrafo a la obtención de la densidad y la diferenciación de especies de madera. *Materiales de Construcción*, 4(2), 451-464.
- Aguilar, J. & Guzowski, E. (2011). *Materiales y materias primas, capítulo 3: madera*. Argentina: Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- Alibaba. (2021). *Tablero de melamina en tableros de partículas/madera contrachapada/mdf con precio bajo*. Recuperado de: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/melamine-board-on-particleboard-plywood-mdf-with-low-price-60396177345.html>
- Álvarez, J. (2014). *Instituciones, cambio tecnológico y productividad en los sistemas agrarios de Nueva Zelanda y Uruguay Patrones y trayectorias de largo plazo*. Tesis de grado. Universidad de la República de Paraguay. Montevideo, Paraguay
- Americanlh. (2021). *Estructuras laminadas encoladas*. Recuperado de: <https://americanlh.com/estructuras-de-madera-laminada/>
- Anderson, J. (2002). Life cycle impacts of timber: a review of the environmental impacts of wood products in construction. *Building Research Establishment*, 20(2), 1-12.
- Azla, H., Puaad, B., Ahmad, Z., Talip, A. & Yasin, M. (2018). CompressiStrength Properties of Malaysian Tropical Timber in Structural Size: Timber Strength Grading. *Advances in Civil Engineering and Science Technology*, 4(2), 1-12.

Barrantes, C. (2010). *Herramienta para el diseño de elementos estructurales de madera nacional mediante los métodos ASD y LRFD*. Recuperado de:

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6139>

Barrios, E. Contreras, W., Owen, M. & Rondón, M. (2011). Sistema estructural de marco portante para edificaciones con madera, Araguaey-I. *Revista Forestal Venezolana*, 55(1), 11-30. Recuperado de:

<https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA303895949&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=05566606&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E593ff390>

Buchanan1, H., Pampanin, S., Newcombe, N. & Palermo, A. (2008). *Non-Conventional Multi-Storey Timber Buildings Using Post-Tensioning*. Recuperado de: https://moam.info/non-conventional-multi-storey-timber-buildings-using-_5adcbebe7f8b9aac048b46aa.html

Contreras, W., Owen, M., Rosso, F. & Contreras, Y. (2000). *Las resinas fenólicas y su importancia en Venezuela para la fabricación de estructuras de madera laminada*.

Recuperado de <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/ifla/v15n27/articulo1.pdf>

Del Llano, J. (2010). *Guía de construir con madera. Conceptos básicos de la construcción con madera*. Recuperado de https://egoin.com/wp-content/uploads/2017/04/Guia-Construccion_en_madera.pdf

Escala, E. (2006) Método de diseño con factores de resistencia y carga - LRFD para el cálculo de estructuras con maderas venezolanas. *Revista Forestal Venezolana*, 2(45), 1-15. Recuperado de: <http://www.saber.ula.edu.ve/handle/123456789/24387>

- Etchenique, A. & Serra, P. (2018). *Madera, otra forma de vivir. Una guía para consumidores y usuarios*. Madrid: STTC.
- Ezekiel, M. (1997). *A new translation with introduction and commentary*. New York: Doubleday.
- Falk, R. (2002). *Wood-Framed Building Deconstruction A Source of Lumber for Construction?*
Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/237420862_Wood-Framed_Building_Deconstruction_A_Source_of_Lumber_for_Construction
- Follesa, M., Christovasilis, J., Vassallo, D. & Fragiacom, M. (2013) Seismic design of multi-storey cross laminated timber buildings according to Eurocode 8. *Ingegneria Sismica* 30(4), 7-53. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/289240561_Seismic_design_of_multi-storey_cross_laminated_timber_buildings_according_to_Eurocode_8
- Forest Products Laboratory. (2010). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. United States Department of Agriculture Forest Service. Recuperado de:
https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf
- Friedrich, D. (2019). Effects from natural weathering on long-term structural performance of wood-polymer composite cladding in the building envelope. *Journal of Building Engineering*, 4(23), 23, 68-76.
- Garay, R. & Sandoval, F. (2013). Efecto de la densidad del tablero y combinación adhesiva sobre propiedades físico-mecánicas críticas en tableros OSB fabricados con maderas nativas chilenas. *Revista Bosque Valdivia*, 34(1), Recuperado de:
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-92002013000100003&script=sci_arttext

Gaston, C., Kosak, J., Connor, O. & Fell, D. (2001). *Potential for Increased Wood Use in NA Non-Residential Markets*. Recuperado de: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/main-motivations-and-barriers-for-using-wood-in-multi-story-and-non-residential-construction-projects/>

Giulia, N. (2020). *Composite action in mass timber floor and beam systems connected with self-tapping wood screws*. Recuperado de: <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0395369>

GrecoTour. (2019). *Creta Región de Heraklion*. Recuperado de: <https://www.grecotour.com/palacio-minoico-knossos-creta>

Gülkan, P. & Langenbach R. (2004). *The earthquake resistance of traditional wooden and masonry houses in Turkey*. Recuperado de: <https://www.conservationtech.com/RL's%20resume&%20pub's/RL-publications/Equ-pubs/2004-13WCEE/GULKAN-LANGENBACH.pdf>

Gülru, K., Türker, D. & Nusret, A. (2018). Using the Ultrasonic Stress Wave Technique to Evaluate Structural Timber Members of an Old Masonry Building. Kastamonu Uni. *Orman Fakültesi Dergisi*, 4(2), 341-349.

Guy, S., Blois, M. & Blanchet, P. (2018). Wood Cladding in Non-residential Construction: Overcoming the Barriers to Leverage the Opportunities. *Bioresources* 13(1), 462-476.
Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/323111495_Wood_Cladding_in_Non-residential_Construction_Overcoming_the_Barriers_to_Leverage_the_Opportunities

- Hermoso, C. & Fernández, G. (2007). Caracterización estructural de la madera de pinus radiata d. don del país vasco (españa) acorde a las modificaciones normativas. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 9(3), 0718-221. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-221X2007000300003&lng=pt&nrm=iso
- Hernández, C. (2018). *Construcción con madera masiva. Propuesta para construir vivienda vertical sustentable en Zapopan*. Tesis de grado. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. Tlaquepaque, México.
- Jan, O. (2012) Strength grading of structural timber and EWP laminations of Norway spruce. Development potentials. *School of Engineering*, 2(15), 27-91. Recuperado de: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:600743/FULLTEXT01.pdf>
- Johannes, J., Ekevad, M., Girhammar, U. & Berg, S. (2018). Structural robustness and timber buildings – a review. *Wood Material Science & Engineering*, 4(2), 1-15.
- Juan, P. (2012). *Estructuración, análisis y diseño estructural de elementos de techo con perfiles metálicos utilizando el método LRFD*. Tesis de grado. Universidad de el Salvador. Ciudad Universitaria, El Salvador.
- Kaiser Group. (2017). *Leading the way with cross-laminated timber*. Recuperado de: urban buildings. Recuperado de <https://www.kaiserpath.com/home>
- Kallsner, B. & Girhammar, U. (2009). Analysis of fully anchored light-frame timber shear walls—elastic model. *Materials and Structures*, 3(42), 301–320.

Kermani, A. & Hairstans, R. (2006). Racking Performance of Structural Insulated Panels.

Technical Papers, 4(2), 1-15.

Kienzle, P. (1998) Conservation and reconstruction at the Palace of Minos at Knossos. PhD

thesis, University of York. Recuperado de <https://etheses.whiterose.ac.uk/9787/>

Lazraka, C., Kabouchi, B., Hammi, M., Famiri, A. & Ziani, M. (2019). Structural study of

maritime pine wood and recycled high-density polyethylene (HDPEr) plastic composite using

Infrared-ATR spectroscopy, X-ray diffraction, SEM and contact angle measurements. *Case*

Studies in Construction Materials, 10(2), 1-18.

Li, Y., Liu, Y., Wang, X., Wu, Q., Yu, H. & Li, J. (2010). Wood – polymer composites prepared

by the in-situ polymerization of monomers within wood. *Journal of Applied Polymer Science*,

4(1), 3207-3216.

Linnaeus, M. (2006). *Timber and engineered wood products*. Recuperado de:

https://www.kstr.lth.se/fileadmin/kstr/pdf_files/Timber_Engineering_2017/TimberEWPs.pdf

McKenzie, J. (2011). The architecture of Alexandria and Egypt 300 BC. C. - 700 d. C. History of

pelican art. *University Press Pelican History of Art Series*, 2(10), 1-15.

Minchán, A. (2018). *Comparación entre las filosofías de diseño por esfuerzo admisibles (ASD),*

factores de carga (LFD) y factores de carga y resistencia (LFRD), en el diseño de la

superestructura de un puente simplemente apoyado de concreto armado. Tesis de grado.

Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Colombia.

Montenegro, M. (2013). *Clasificación de madera estructural de gran escuadría de Pino*

Silvestre, mediante métodos no destructivos. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros

de Montes.

Muñoz, F. (2012) Contrachapados de madera de *Eucalyptus nitens*. *Revista Forestal*

Mesoamericana Kurú, 9(23), 1-15. Recuperado de

<https://pdfs.semanticscholar.org/e421/8a96b4fac5c1e97fc8c0aa6b856b05f55751.pdf>

Nguyen, C., Vestartas, P. & Weinand, Y. (2019). Design framework for the structural analysis of free-form timber plate structures using wood-wood connections. *Automation in Construction*, 4(2), 107, 294.

Niglio, O. & Valencia, W. (2014). Reducción del riesgo sísmico para el patrimonio arquitectónico. Una comparación entre experiencias de Colombia y Japón. *Apuntes*, 27(1), 106-123.

O'Halloran, M. & Abdullahi, A. (2017). *Wood: Structural Panels*. Barcelona: Elsevier Inc.

Opazo, A. & Segura, G. (2012). *Determinación del módulo de corte de tableros de fibra orientada a través de ensayo de análisis modal*. Tesis de grado. Universidad del Bío-Bío. Bío-Bío, Chile.

Ortega, J., Vasconcelos, G., Rodrigues, H. & Correia, M. (2017). Traditional earthquake resistant techniques for vernacular architecture and local seismic cultures: a literature review. *Rigen Journal of Cultural Heritage*, 27(2), 1-12.

Ortiz, A. & Pinto, J. (s.f.). *Construcción sismo resistente sostenible adaptada al cambio climático*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Pacini, C. (2019). *Estructuras de madera. Diseño, cálculo y construcción*. Bogotá: Ediciones de la U.

Palaia, L. (2000). *Las armaduras de madera para cubiertas en la Comunidad Valenciana*. Sevilla: Junta Andalucía.

Parra, C. (2018). *Estudio de viabilidad de un nuevo sistema estructural madera-acero para la construcción de edificio sismo resistente*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Piedrahita, E. (2018). Comparación de los métodos de diseño ASD y LRFD de una edificación de pórticos de madera con diagonales en Bogotá. Tesis de grado. Universidad la gran Colombia. Bogotá, Colombia.

Popescu, M., Navi, P., Placencia, M. & Popescu, C. (2018). Structural changes of wood during hydro-thermal and thermal treatments evaluated through NIR spectroscopy and principal component analysis. *Molecular and biomolecular spectroscopy*, 4(2), 405-412.

Queipo, J., González, B., Llinares, M., Villagrà, C. & Gallego, V. (2010). *Conceptos básicos de la construcción con madera*. Madrid: Construir con Madera.

Rababeh S, Mashaleh, M. & Malaabeh, A. (2010). *Factors determining the choice of construction techniques*. Recuperado de:
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15583050903159737>

Rababeh, S. & How P. (2005). *Was built: an analysis of the construction techniques of the Nabataean freestanding buildings and rock-cut monuments at Petra*. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/241687217_How_Petra_was_Built_An_analysis_of_the_construction_techniques_of_the_Nabataean_freestanding_buildings_and_rock-

cut_monuments_in_Petra_Jordan

Rababeh, S., Al Qablan, H. & Mashaleh, M. (2013) Use of tie rods to reinforce stone masonry arches in Nabataean construction. *Journal of Architectural Conservation*, 4(2), 1-15.

Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13556207.2013.819656>

Reymundo, S. (1996). *Diseño probabilístico de estructuras de madera en norte América*.

Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/617/61720103.pdf>

Reynolds, I. (2012) The History and Architecture of Petra. *JCCC Honors Journal*, 4(3), 1-12.

Recuperado de: http://scholarspace.jccc.edu/honors_journal/vol3/iss2/3

Robles, F. & Echenique, R. (1991). *Estructuras de madera*. México: Limusa.

Rolleri, A. (2008). *Relación del estado superficial con la calidad de las uniones en madera laminada encolada de Pinus Radiata D.Don*. Recuperado de:

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/fifo.78r/doc/fifo.78r.pdf>

Sáenz, S. (2014). *Análisis comparativo entre la aplicación del reglamento LFRD y el NRC-07 para el diseño sísmico de una estructura de madera de dos plantas considerando respuesta local de sitio en managua, nicaragua*. Tesis de grado. Universidad Centroamérica.

Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua.

Salinas, A. (2007). *Comparación entre diseño a tensión última y a tensión admisible en el cálculo de puentes de madera*. Tesis de grado. Universidad del Bio-Bio. Bio-Bio, Chile.

Salman, F. & Hussain, M. (2010). *Earthquake Resistant Wooden House*. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/279467104_Earthquake_Resistant_Wooden_House

Shahriar, A. (2019). Finite-Element Analysis of Wood-Frame Houses under Lateral Loads.

American Society of Civil Engineers, 4(2), 1-18.

Slideshare. (2011). *Procesos constructivos de la madera*. Recuperado de:

<https://www.slideshare.net/zoimelg/mapa-mental-estructura>

Speranzini, E. & Agnetti, S. (s.f.). *Structural Performance Of Natural Fibers Reinforced Timber*

Beams. Recuperado de:

https://www.iifc.org/proceedings/CICE_2012/01_FRP%20Strengthening%20of%20Concrete%20Structures,%20Historic%20Structures,%20Masonry%20Structures,%20Timber%20Structur/01_235_Speranzini,Agnetti_STRUCTUREAL%20PERFORMANCE%20OF%20NATURAL%20FIBERS.pdf

Structuraltimber. (sf). *Glued laminated timber structures*. Recuperado de:

<https://www.structuraltimber.co.uk/assets/InformationCentre/eb8.pdf>

Tanga, G., Yin, L., Li, Z., Li, Y. & You, L. (2019). Structural behaviors of bolted connections using laminated bamboo and steel plates. *Structures* 20(2), 324-339.

Terreros, C. & Gómez, C. (2015). *Análisis comparativo entre metodología SIP y metodología tradicional en la construcción de viviendas de un piso*. Tesis de grado. Universidad de Especialidades Espíritu Santo. Guayaquil, Ecuador.

Thomson, E. (2000). *Evaluación del estado actual del método de diseño por estados límites (LSD) para estructuras de maderas*. Tesis de grado. Universidad de los Andes. Bogota, Colombia.

- Timothy, M. (2005). *Muros cortantes. Capacitación en reacondicionamiento sísmico para inspectores de contratistas de edificios*. New York: P. McCormick.
- Tique, D. F. (2016). *Diseño de Estructuras de madera según la NSR-10*. Tesis de grado. Universidad Santo Tomas. Bogotá, Colombia.
- Touza, M. & Sanz, F. (2012) Nuevas aplicaciones de la madera de Eucalipto. *Revista CIS-Madera*, 4(1), 1-15. Recuperado de: <http://www.cismadeira.com/castelan/downloads/art9.pdf>
- Vijay, V., Tulasi, K. & GangaRao, V. (2019). Structural Evaluation and Rehabilitation of Century-Old Masonry and Timber Buildings, *American Society of Civil Engineers*, 4(2), 1-15.
- Vinueza, M. (2018). *Diseño del puente peatonal colgante con tablero de madera y guía constructiva de la estructura, ubicada sobre el río tigre, cantón san miguel de los bancos, provincia de pichincha*. Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Wright, M. (2005). Ancient Building Technology. Recuperado de: <https://brill.com/view/title/17662>
- Zakiah, A. & Kazeroon, A. (2016) *The Joint Strength of Timber Connected with Adhesively Bonded-in GFRP Rod*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/304055383_The_Joint_Strength_of_Timber_Connected_with_Adhesively_Bonded-in_GFRP_Rod
- Zanni, E. (2004). *Patología de la madera: Degradación y rehabilitación de estructuras de madera / Enrique Zanni / Patología de la madera*. Perú: Córdova.