

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		VERSIÓN	02
			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): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): SERGIO ANDRES APELLIDOS: OSPINA GOMEZ

NOMBRE(S): HERNÁN LEANDRO APELLIDOS: RÍOS ANGARITA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JAVIER ANDRÉS APELLIDOS: MARTÍNEZ ORTEGA

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL EN EL DISEÑO DE VIVIENDAS: UNA REVISIÓN DOCUMENTAL DE ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

Monografía de carácter documental de estudio bibliográfico relacionada con el uso de la madera en la construcción de vivienda. Para ello se utilizaron buscadores como Web Of Science (WOS), Scopus, ScienceDirect, Google académico, entre otras bases de datos especializadas. Mediante consulta minuciosa realizada se referenciaron 64 documentos especializados (artículos de investigación, tesis y libros) relacionados con el tema propuesto, para el respectivo análisis bibliográfico se tuvieron en cuenta las fechas de publicación, se consultaron estudios desde el año 2005 al 2021. Los resultados permitieron apreciar la importancia que ha tenido el uso de la madera en la construcción de vivienda. El país que más ha realizado publicaciones al respecto ha sido Estados Unidos seguido de Suiza. En Colombia las publicaciones no han sido contundentes, se encontraron tesis de grado que plantean diseños de vivienda de interés social construidas en madera, pero no existe una literatura base como tal. La mayoría de los estudios consultados concuerdan en que la construcción de vivienda con madera permite proteger el medio ambiente, siempre y cuando existan regulaciones legales en los países donde esta clase de edificaciones, en cuanto a la protección ambiental y la obligación de sembrar árboles para evitar la deforestación a causa de la tala de bosques para la construcción de viviendas.

PALABRAS CLAVES: Madera, Vivienda, Construcción y Estructura.

CARACTERÍSTICAS: PÁGINAS: 101 PLANOS: ILUSTRACIONES: CD ROOM:

LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL EN EL DISEÑO DE VIVIENDAS: UNA
REVISIÓN DOCUMENTAL DE ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

SERGIO ANDRÉS OSPINA GÓMEZ
HERNÁN LEANDRO RÍOS ANGARITA

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

2022

LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL EN EL DISEÑO DE VIVIENDAS: UNA
REVISIÓN DOCUMENTAL DE ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

SERGIO ANDRÉS OSPINA GÓMEZ
HERNÁN LEANDRO RÍOS ANGARITA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de especialista en estructuras

Director

JAVIER ANDRÉS MARTÍNEZ ORTEGA
Ingeniero Civil. Especialista en estructuras

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

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 27 DE MAYO DE 2022 HORA: 04:00 p.m.

LUGAR: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS – UFPS

PLAN DE ESTUDIOS: ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

TÍTULO DE LA TESIS: “LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL EN EL DISEÑO DE VIVIENDAS: UNA REVISIÓN DOCUMENTAL DE ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO”.

JURADOS: ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA
ING. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO
ING. JAVIER ANDRÉS MARTÍNEZ ORTEGA

DIRECTOR: INGENIERO JAVIER ANDRÉS MARTÍNEZ ORTEGA.

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	CÓDIGO	CALIFICACIÓN	
		NÚMERO	LETRA
SERGIO ANDRES OSPINA GOMEZ	1010110	4.3	CUATRO, TRES

A P R O B A D A



ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ
PEÑARANDA



ING. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO



ING. JAVIER ANDRÉS MARTÍNEZ ORTEGA



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

María del C.

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 27 DE MAYO DE 2022 HORA: 04:00 p.m.

LUGAR: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS – UFPS

PLAN DE ESTUDIOS: ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

TÍTULO DE LA TESIS: “LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL EN EL DISEÑO DE VIVIENDAS: UNA REVISIÓN DOCUMENTAL DE ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO”.

JURADOS: ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA
ING. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO
ING. JAVIER ANDRÉS MARTÍNEZ ORTEGA

DIRECTOR: INGENIERO JAVIER ANDRÉS MARTÍNEZ ORTEGA.

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	CÓDIGO	CALIFICACIÓN	
		NÚMERO	LETRA
HERNAN LEANDRO RIOS ANGARITA	1010107	4.3	CUATRO, TRES

A P R O B A D A



ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ
PEÑARANDA



ING. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO



ING. JAVIER ANDRÉS MARTÍNEZ ORTEGA



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

María del C.

Tabla de Contenido

Introducción	13
1.Problema	15
1.1 Título	15
1.2 Planteamiento del problema	15
1.3 Formulación del problema	17
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo general	18
1.4.2 Objetivos específicos	18
1.5 Justificación	18
1.6 Alcances y limitaciones	19
1.6.1 Alcances	19
1.6.2 Limitaciones	20
1.7 Delimitaciones	20
1.7.1 Delimitación espacial	20
1.7.2 Delimitación temporal	20
1.7.3 Delimitación conceptual	20
2. Marco referencial	22
2.1 Antecedentes	22
2.1.1 Antecedentes a nivel internacional	22
2.1.2 Antecedentes a nivel nacional	24
2.2 Estado del arte	25
2.3 Marco Teórico	26

2.4 Marco Conceptual	28
2.5 Marco Contextual	32
2.6 Marco Legal	32
2.6.1 A nivel internacional se encontró la siguiente normatividad:	32
2.6.2 A nivel nacional existe la siguiente normatividad:	33
3. Diseño Metodológico	34
3.1 Tipo de Investigación	34
3.2 Población y muestra	34
3.2.1 Población	34
3.2.2 Muestra	34
3.3 Fases y actividades específicas del proyecto	34
4. Resultados	36
4.1 Estado del arte del uso de la madera como material estructural	36
4.1.1 Análisis bibliométrico del estudio de la madera	36
4.1.2 Análisis bibliográfico del estudio de la madera	39
4.2 Evolución que ha tenido el uso de la madera como material estructural en el diseño de viviendas	43
4.2.1 Historia y evolución	43
4.2.2 La madera en la arquitectura antigua china, japonesa y occidental	46
4.2.3 La construcción en madera en Latinoamérica	52
4.2.4 Importancia de la evolución de la madera como materia prima en construcción de vivienda	55
4.2.5 Tipos de maderas y sus usos	60
4.2.6 Propiedades físicas de la madera	63

4.2.7 Características estructurales de la madera	67
4.2.8 Obtención de la madera: la celulosa y la lignina	68
4.2.9 Propiedades mecánicas de la madera	72
4.2.10 La madera en Colombia	74
4.3 Metodologías para el uso apropiado de la madera en la construcción	84
4.3.1 Aspectos importantes de seleccionar materiales	86
4.3.2 Aspectos ambientales relacionados con la construcción en madera	89
4.3.3 Importancia del uso de la madera en la construcción de vivienda	91
Conclusiones	94
Referencias bibliográficas	96

Lista de Figuras

Figura 1 Construcción en madera	29
Figura 2 Estructura en madera.	30
Figura 3 Madera laminada encolada.	31
Figura 4 Cantidad acumulada de publicaciones por año.	37
Figura 5 Países con mayor número de publicación por año del tema de estudio.	38
Figura 6 Esquema de un Dougong de la antigua China.	48
Figura 7 Techos decorativos soportados sobre Dougong de la antigua China.	49
Figura 8 Pendolón sencillo de madera.	50
Figura 9 Cercha gótica de madera.	51
Figura 10 Techo normando de madera.	51
Figura 11 Sistema constructivo Balloon Frame	53
Figura 12 Sistema de panel Structural Insulated Panels (SIP).	54
Figura 13 Maderas duras	61
Figura 14 Maderas blandas	62
Figura 15 Corte transversal del tronco de un árbol.	65
Figura 16 Características para clasificación visual de la madera.	65
Figura 17 Estructura de la madera	67

Lista de Tablas

Tabla 1 Características de la madera según su especie.	75
Tabla 2 Propiedades físicas de la madera según su especie.	78
Tabla 3 Propiedades mecánicas de la madera según su especie.	80

Resumen

El presente trabajo describe una monografía de carácter documental de estudio bibliográfico relacionada con el uso de la madera en la construcción de vivienda. Para ello se utilizaron buscadores como Web Of Science (WOS), Scopus, ScienceDirect, Google académico, entre otras bases de datos especializadas. Mediante consulta minuciosa realizada se referenciaron 64 documentos especializados (artículos de investigación, tesis y libros) relacionados con el tema propuesto, para el respectivo análisis bibliográfico se tuvieron en cuenta las fechas de publicación, se consultaron estudios desde el año 2005 al 2021. Los resultados permitieron apreciar la importancia que ha tenido el uso de la madera en la construcción de vivienda. El país que más ha realizado publicaciones al respecto ha sido Estados Unidos seguido de Suiza. En Colombia las publicaciones no han sido contundentes, se encontraron tesis de grado que planteandiseños de vivienda de interés social construidas en madera, pero no existe una literatura base como tal. La mayoría de los estudios consultados concuerdan en que la construcción de vivienda con madera permite proteger el medio ambiente, siempre y cuando existan regulaciones legales en los países donde esta clase de edificaciones, en cuanto a la protección ambiental y la obligación de sembrar árboles para evitar la deforestación a causa de la tala de bosques para la construcción de viviendas. Como conclusiones finales se planteó la importancia que tiene la madera en la construcción de vivienda y los beneficios que le brinda a la sociedad.

Palabras claves: Madera, Vivienda, Construcción y Estructura.

Abstract

The present work describes a documentary monograph of a bibliographic study related to the use of wood in housing construction. Search engines such as Web of Science (WOS), Scopus, ScienceDirect, Google Scholar, among other specialized databases, were used for this. Through a detailed consultation, 64 specialized documents (research articles, theses and books) related to the proposed topic were referenced, for the respective bibliographic analysis the dates of publication were taken into account, studies from 2005 to 2021 were consulted. The results allowed us to appreciate the importance that the use of wood has had in the construction of housing. The country that has made the most publications in this regard has been the United States followed by Switzerland. In Colombia, the publications have not been conclusive, degree theses were found that propose designs for social housing built in wood, but there is no basic literature as such. Most of the studies consulted agree that the construction of housing with wood allows protecting the environment, as long as there are legal regulations in the countries where this type of building is built, in terms of environmental protection and the obligation to plant trees to avoid deforestation due to the felling of forests for the construction of houses. As final conclusions, the importance of wood in the construction of housing and the benefits it provides to society were raised.

Keywords: Wood, Housing, Construction and Structure.

Introducción

La vivienda asequible, segura y medioambientalmente amigable es una necesidad humana básica y se ha convertido en la prioridad social de la mayoría de los países del mundo. La construcción en madera, desde tiempos bíblicos ha sido fundamental para los seres humanos. A lo largo de la historia se ha demostrado que el uso de la madera en la construcción de vivienda ha sido el pilar del mercado de viviendas residenciales, en América del Norte, por ejemplo, durante unos 200 años las edificaciones de vivienda se han construido en madera, llegándose a convertir en la fecha lo que 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.

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, incluida la fibra de plantación y especies previamente infrautilizadas como el álamo temblón. Además, el uso de la madera en la construcción ha reducido los 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.

Además de la asequibilidad y la calidad, la construcción 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 armazón 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, hará de la madera el material de construcción de elección en las próximas décadas.

1.Problema

1.1 Título

La madera como material estructural en el diseño de viviendas: una revisión documental de análisis bibliográfico.

1.2 Planteamiento del problema

Actualmente, a nivel mundial, en el mercado de vivienda hay cada vez más casas prefabricadas de madera, esto permite que todos tengan más opciones que en el pasado, cuando la única solución era construir nuevas viviendas con solo el sistema constructivo de hormigón armado y ladrillo. Sin embargo, los sistemas prefabricados aún son poco conocidos y esto impide más que tomar una decisión verdaderamente libre y consciente.

El diseño y la instalación de estructuras prefabricadas en madera son sustancialmente diferentes a las de hormigón armado y ladrillo, por esta razón, tanto los profesionales que se ocupan del diseño como las empresas constructoras. Son muy competitivos a la hora de construir viviendas con sistemas tradicionales. El diseño y la oferta de construcción serán por tanto más altos a la hora de construir casas prefabricadas. Otro factor determinante en el coste de construcción es el precio de los materiales. La madera debe ser de buena calidad, así como todos los componentes utilizados en los paneles de cobertura. Los precios bajos a menudo significan madera de mala calidad, poco curada o de origen no certificado. En cuanto a los paneles, en cambio, si el coste es modesto significa que se podrían haber utilizado materiales aislantes muy eficientes. No tener costos de mantenimiento excesivos durante la vida útil de la casa es verificar la calidad de los productos y tomar la decisión correcta, incluso si eso significa aumentar el costo inicial de construcción. A pesar de estos antecedentes, si las casas prefabricadas son de buena calidad, las casas a largo plazo así

hechas pueden resultar más económicas. La ganancia se encuentra a lo largo de la vida útil del hogar y no solo es económica sino también cualitativa. Las casas de madera tienen la gran ventaja de estar construidas con materiales naturales y eso significa una mejor calidad de vida. También garantizan un alto ahorro energético. La madera, de hecho, es un excelente aislante natural, que evita la pérdida de calor en invierno y mantiene fresco el ambiente durante el verano. Si este sistema de construcción es el uso combinado de fuentes renovables (ahora obligatorio para nuevas construcciones), la casa casi no requiere consumo de energía y cuenta con un costo extremadamente bajo.

La construcción y posterior gestión de una vivienda son los principales responsables de una grave contaminación urbana. Los edificios que se construyeron en las últimas décadas son, de hecho, a menudo muy ineficientes desde el punto de vista energético. Y esto se aplica tanto a las casas tradicionales como a las prefabricadas. Es importante, en ambos casos, utilizar tecnologías y componentes de calidad constructiva para evitar grandes problemas de puentes térmicos, pérdida de calor, derroche de energía y por ende una alta producción de contaminación. En cuanto al costo, se debe buscar la verdadera sustentabilidad en toda la vida útil de una casa. Si, de hecho, en los dos sistemas constructivos el uso de materias primas es elevado (en un caso para la realización de las distintas partes, en el otro para el transporte de piezas especiales y a menudo largas), el uso de la energía necesaria durante la vida útil de la casa es menor para las casas prefabricadas de madera. Los sistemas de aislamiento que se instalan son a menudo mejores estándares de las casas tradicionales.

La construcción de vivienda en madera, son más rápidos de construir, pero el tiempo total para la realización podría ser muy cercano al de las viviendas tradicionales, ya que cuando se

considera que todo el proceso de implementación incluye el diseño, la preparación del suelo y las conexiones de los servicios públicos, los tiempos se alargan. Especialmente la fase de proyección puede extenderse más. Los sistemas prefabricados tienen menos flexibilidad que los sistemas de molinos tradicionales: los espacios, las aberturas, las alturas, todo debe estar bien definido en la etapa de diseño porque una vez hechas las piezas hacer cambios puede ser realmente costoso. La comparación con el diseñador es muy importante: las opciones. Deben ser clara, precisa y bien satisfecha todas las necesidades. Evidentemente en esta ocasión se recupera la propia construcción de la vivienda para el rápido montaje e instalación de la estructura. El trabajo en obra es corto debido a la producción previa al astillero de las piezas. Los negocios son capaces de respetar los tiempos de entrega del producto vivo mejor que las casas tradicionales, donde en construcción se pueden tener contratiempos de diversa índole (entrega tardía de materiales, condiciones climáticas adversas). La preparación y trabajo final del suelo los de conexiones de las cargas más o menos equivalentes entre los dos tipos de construcción.

Conforme a lo descrito en párrafos anteriores, se procede a realizar un estudio de carácter monográfico, donde se busca analizar desde un punto de vista documental la importancia que ha tenido la madera en el sector de la construcción de vivienda. De esta forma se espera el poder apreciar la importancia que tiene el uso de la madera en esta área y el papel fundamental que ha jugado a lo largo de la historia de la humanidad.

1.3 Formulación del problema

¿De acuerdo a la literatura existente, qué papel ha jugado la madera como material estructural en el diseño de viviendas?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar mediante una revisión de carácter documental la importancia de la madera como material estructural en el diseño de viviendas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica del estado del arte del uso de la madera como material estructural en el diseño de viviendas.
- Describir la evolución que ha tenido el uso de la madera como material estructural en el diseño de viviendas.
- Presentar las diversas metodologías para el uso apropiado de la madera en la construcción de vivienda en Colombia.

1.5 Justificación

Por medio de la presente monografía, se busca analizar desde un punto de vista documental la importancia que se le ha dado a la madera para la construcción de vivienda en el mundo y a lo largo de la historia. Para lo cual se tiene en cuenta, que la madera es uno de los materiales de origen forestal que más se utiliza a nivel mundial. Se utiliza en edificios tanto grandes como pequeños, por esta razón, por medio de una investigación de carácter documental se analizará cada uno de los aspectos importantes relacionados con la madera en el sector de la construcción, el trato que se le ha dado a la misma y porque ha sido tan usada a nivel mundial en este sector.

En la práctica, la madera tiene alto rendimiento por su relación resistencia/peso, lo cual se traduce en un material se utiliza de forma más eficiente en estructuras donde soporta gran parte de

su propio peso. En muchos lugares a nivel mundial, los códigos y reglamentos de construcción especifican parámetros dentro de la ingeniería, por lo que, en muchas ocasiones, las alturas están limitadas muy por debajo de lo que es posible para la madera. Por esta razón, se tendrá en cuenta dentro de la literatura consultada aspectos importantes relacionados con la vida útil de las estructuras de madera, la forma en que se ha utilizado, las normas internacionales que se han creado para la construcción de vivienda en madera, como se ha hecho para que esta no sea afectada principalmente por su comportamiento frente al fuego y sensibilidad a la humedad, y cómo se puede ampliar mediante la modificación del material natural y el uso de detalles de diseño efectivos.

Desde un punto de vista académico, se busca realizar una investigación monográfica de carácter bibliográfico acompañado de un estudio documental, para ello se hará uso de Scopus, Google académico, base de datos de internet, biblioteca virtual de la Universidad Francisco de Paulas Santander y otros medios de consulta de material impreso con el fin de fortalecer dicha monografía acá propuesta.

1.6 Alcances y limitaciones

1.6.1 Alcances

La monografía se plantea desde un punto de vista documental de análisis bibliográfico, para ello se utilizarán diversas fuentes de consulta como lo es Scopus, Web of Science (WOS), Google Académico, entre otros. El tema que se plantea es el uso de la madera en el sector de la construcción de vivienda, se espera con la presente dejar un aporte teórico que sirva como fuente de consulta a profesionales de ingeniería civil, estudiantes de ingeniería civil, tecnólogos en ingeniería civil, y personas que deseen adquirir conocimientos relacionados con la temática propuesta.

1.6.2 Limitaciones

Una de las grandes variables dentro de las limitaciones podría ser la escasa información respecto al tema. Base de datos limitada como lo es Scopus y WOS, poco acceso a la información por parte de la Biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, entre otras.

1.7 Delimitaciones

1.7.1 Delimitación espacial

La monografía se delimita en aquella literatura a nivel mundial que se haya escrito en cualquier país del mundo y que este directamente relacionado con el tema, teniendo en cuenta claro está la que se ha creado en Colombia por diversos autores con conocimiento de causa y que puedan dar sus aportes a la temática propuesta.

1.7.2 Delimitación temporal

La monografía se realizó durante el primer semestre del año 2022, atendiendo como primordial a la información consultada y documentada durante los últimos 20 años.

1.7.3 Delimitación conceptual

La monografía se estima ser desarrollada bajo una base conceptual sólida que permita la descripción básica del tema a tratar que es la madera como un material de construcción estructural en la edificación de viviendas. Por lo tanto, se espera enmarcar el proyecto dentro de los siguientes conceptos:

- Construcción.
- Diseño sismorresistente.
- Estructura de madera.
- Estructura.

- Madera laminada encolada.
- Madera como material de construcción.

2. Marco referencial

2.1 Antecedentes

En esta sección se relacionan los antecedentes del tema de proyecto, según referencias internacionales y nacionales. Seguido de un estado del arte referente a la temática de estudio.

2.1.1 Antecedentes a nivel internacional

Flórez (2018) en su trabajo titulado “*Factibilidad para la construcción de viviendas de madera de interés social en el distrito de Carumas – Moquegua*” describe una investigación, la cual tuvo como objetivo principal estudiar y conocer el grado y/o nivel de factibilidad que presenta la construcción de viviendas de tipo residencial con madera como materia prima, donde predominan materiales rústicos como lo es el adobe. La investigación se planteó su desarrollo bajo un enfoque social en Carumas Moquegua, por ello se quiere llegar a conocer desde un punto de vista técnico, de mercado y económico financiero, como es que sería la fabricación de las casas de madera ya mencionadas. Teniendo en cuenta lo anterior, el documento presentado por Flórez (2018) da una revisión de tipo documental, que permite visibilizar a la madera como un material de construcción de edificaciones de tipo residencial.

Bello (2019) realizó una investigación en Costa Rica, titulada “*Evaluación de la calidad de la madera utilizada en viviendas de interés social financiadas por el Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI) en Costa Rica*”. La investigación tuvo como objetivo el desarrollo de una propuesta metodológica para la evaluación de la calidad de la madera para el diseño y construcción de edificaciones de tipo residencial (viviendas de interés social) para el Banco Hipotecario de la

Vivienda (BANHVI). Para ello, el investigador realizó una revisión bibliográfica, además de que se aplicaron entrevistas a expertos en el proceso de tratamiento de lamadera como materia prima (secado, preservado, calidad visual, transporte y almacenaje de madera). Además, se analizó la información existente acerca de evaluaciones realizadas en viviendas de interés social, así como las normas, códigos y reglamentos nacionales e internacionales. Dicho lo anterior se permitió la elaboración de un manual con los lineamientos para el control y calidad del proceso de tratamiento de la madera, así como la elaboración una propuesta metodológica ajustada a los requerimientos del BANHVI. Teniendo en cuenta lo anterior, el documento presentado por Bello (2019) da un vistazo que permite identificar los diferentes procesos que se le deben realizar a la madera para que esta se considere como un material de construcción de viviendas de interés social.

Por último, un estudio realizado por Videla (2012) que lleva por título “*La construcción de vivienda en madera: ¿Una alternativa eficiente?*” tuvo como objetivo el análisis de aspectos y/o características para la construcción en madera de edificaciones de tipo residencial, lo cual potencialmente pueda generar alternativas eficientes en la construcción de casa (siendo eficientes tanto desde el punto de vista energético como en el marco económico). Dicho análisis se realiza basándose en comparaciones con las metodologías convencionales de construcción de edificaciones de uso residencial, tales como lo son los sistemas pesados de hormigón y mampostería. El investigador buscó así aportar al conocimiento de la temática la eficiencia de la madera como material de construcción de viviendas, a través de la utilización de la madera como material para el desarrollo de sistemas de construcción un poco más livianos a los convencionales, lo cual es una alternativa que se está utilizando cada vez más a nivel mundial.

2.1.2 Antecedentes a nivel nacional

Dussan y Rincón (2014) mediante una investigación titulada “*Uso de la madera como materia prima de construcción para una solución de vivienda en un sector socioeconómico medio de la población en la ciudad de Villavicencio-Meta*” evaluaron una nueva alternativa para dar solución a la construcción de edificaciones de uso residencial en un estrato socioeconómico medio para la población de Villavicencio – Meta, en Colombia. Dicha solución se obtuvo utilizando la madera como material de construcción. Para lo cual, la investigación llevó a cabo un análisis y evaluación del uso de la materia prima en un contexto económico, técnico y ambiental que permita determinar la viabilidad de realizar o no, los proyectos de construcción de casas en madera. Fue necesario hacer una recopilación de toda la información existente acerca de las construcciones que se han desarrollado en diferentes lugares del mundo, mediante la utilización de materias primas y/o materiales orgánicos, que sean renovables y, además, contengan menos contaminantes que los utilizados convencionalmente. El proyecto realizado describe teóricamente cuál es el comportamiento de los materiales a utilizar desde distintas perspectivas. Por último, fue fundamental dar a conocer las características propias de cada material, lo cual contribuyó a describir las ventajas y desventajas de la madera como materia prima para la construcción de viviendas.

Pacheco y Gómez (2017) mediante una investigación titulada “*Determinación de la viabilidad técnica del sistema constructivo de casas de interés social en madera para implementación en el área urbana del municipio de Chía – Colombia*” determinaron la viabilidad que tienen los sistemas constructivos realizados por el *Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade* (HABIS) en Brasil, realizado con diferentes tipos de madera en edificaciones eco sostenibles, para llevar a la construcción en el municipio de Chía, Cundinamarca en Colombia. En el desarrollo del estudio se consideró que el uso de la madera como materia prima para la construcción de edificaciones de uso residencial a nivel mundial se ha ido implementando con el

fin de reducir costos y, además, tratar de mitigar el impacto negativo al medio ambiente que se tiene con otros métodos de construcción convencionales. Sin embargo, se tiene que en Colombia al 2022 no se ha estudiado la posibilidad de usar la madera como material alternativo para construcción de viviendas.

Por último, Murillo (2017) mediante una investigación titulada “*La madera como sistema constructivo para generar viviendas sostenibles en Medellín*” realizó el análisis de varios casos de estudio a nivel mundial, de los cuales se obtuvieron datos importantes para llevar a cabo el diseño de un nuevo sistema constructivo, tales como las características y propiedades de los diferentes tipos de madera, determinando cual resulta ser el más adecuado para la utilización en la construcción, además, de qué sistemas de ensamble y anclaje se pueden utilizar. El autor desarrollo el diseño de un prototipo con el cual se pudo comprobar que el uso de maderas en la edificación puede contribuir en el aumento de su uso en la construcción sostenible, para así mitigar el impacto ambiental.

2.2 Estado del arte

Los árboles y sus productos derivados han sido utilizados por sociedades de todo el mundo durante miles de años. La construcción contemporánea de edificios altos de madera, en sutotalidad o en parte, sugiere un interés creciente en el potencial de construir con madera a una escala que antes no era posible. Como la madera es el único material de construcción importante que se cultiva, tenemos la inclinación natural de que la construcción con madera es buena para el medio ambiente.

Diversos estudios consultados, permitieron apreciar los beneficios del uso de madera, la

madera puede tener beneficios económicos para la construcción, ya que la madera moderna se prepara en gran medida en la fábrica y se lleva al lugar para un ensamblaje rápido. Existen mercados tanto locales como globales para la madera, por lo que cada uno podría ser importante para evaluar el valor del uso de madera a gran escala. Los beneficios ambientales se han demostrado en algunos proyectos, pero no siempre son fáciles de cuantificar o generalizar.

Estudios consultados señalaron que la vivienda de madera es una de las alternativas constructivas más sostenibles. En muchos países europeos y norteamericanos, las casas de madera proporcionan la solución más común, económica y práctica para la construcción. Los edificios de madera presentan niveles adecuados de durabilidad, acústica y confort térmico. A pesar de su popularidad, las casas de madera no cuentan con una clasificación estandarizada para definir y organizar sus principales aspectos. En la literatura que trata sobre la construcción con madera, la mayoría de los autores enfatizan los sistemas estructurales para grandes luces (puentes, hangares, techos, etc.). La presencia de algunas clasificaciones de la construcción con madera da como resultado problemas poco claros, y pocos estudios han cubierto y considerado los edificios de madera como tipologías de construcción residencial.

2.3 Marco Teórico

La madera es un material que está compuesto por fibras de celulosa: Siendo la celulosa una sustancia que conforma el esqueleto de las plantas. Por otra parte, la lignina, que le otorga rigidez y dureza. Por las fibras transitan y se almacenan sustancias como agua, resinas, aceites, sales. En su estructura permanecen en mayor parte el hidrógeno, el oxígeno, el carbono y el nitrógeno con porciones menores de potasio, sodio, calcio, silicio y otros recursos. La madera se descompone de

parte de microorganismos como por ejemplo bacterias y hongos o males a causade insectos, por tal razón es fundamental darles un procedimiento que evite su deterioro (Pacini,2019).

La madera como un material para la construcción posee una serie de características especiales, entre los cuales se puede destacar las propiedades físicas, dentro de las cuales se encuentra su resistencia mecánica, la flexibilidad, la dureza, y la capacidad como aislamiento térmico y acústico debido a las diminutas burbujas de aire que alberga.

La madera, como materia prima en la construcción, es uno de los pocos materiales que puede ser utilizada en cualquier elemento de las viviendas, ya sea estructural o no estructural. Esto se debe a que se puede usar en la propia estructuración de la edificación, así como un material para la base, es decir, para la construcción de los cimientos, además de las estructuras delas cubiertas. La madera también posee propiedades aislantes, sin embargo, si se ubica en una zona de alto riesgo de incendio, podría ser el material no adecuado, aun así, actualmente la madera puede tratarse químicamente para que sea resistente al fuego.

La madera es un material que, además, puede ser utilizado para la construcción de estructuras que dan soporte a las edificaciones, entre las que se destacan las columnas y las vigas. 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, la madera también tiene otros usos dentro de las construcciones civiles, como lo es el caso de la fabricación de muebles y otros productos de carpintería, ya que este material

resistente y durable que 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.

2.4 Marco Conceptual

Construcción: es la acción y el efecto de construir o el arte de construir. Es decir, se refiere a diversas edificaciones que son creados por el hombre de gran tamaño, para su resguardo y protección. Caracterizadas por la implementación de diversos elementos como los cimientos, la estructura, los muros exteriores las separaciones interiores etc., que ayudan a facilitar dicha creación. Del mismo modo, el término creación hace referencia a la acción y el impacto de edificar o el arte de edificar. En otras palabras, tiene relación con distintas construcciones engendrada por el ser humano en su mayoría de enorme tamaño, como un inmueble, una vivienda entre otros, usando varios materiales u recursos como los cimientos, la composición, las paredes exteriores las separaciones interiores etcétera., que ayudan a facilitar esa construcción. La Figura 1 muestra un ejemplo de construcción, más específicamente, construcción en madera.

Figura 1 Construcción en madera



Fuente: <https://www.itcsa.es/construccion-con-madera/>

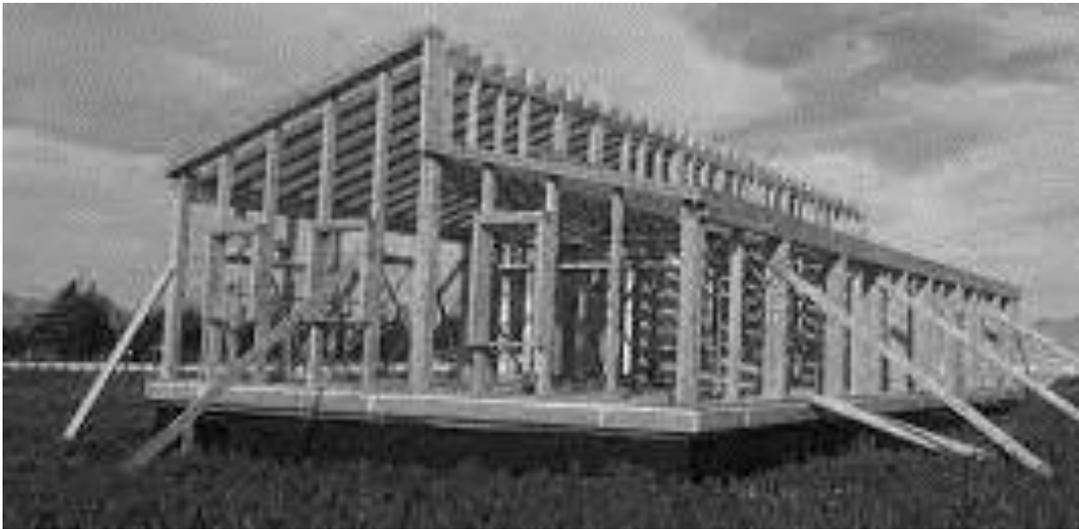
Diseño sismorresistente: la sismoresistencia es una propiedad o capacidad que se dota a la edificación con el fin de proteger la vida y las personas de quienes la ocupan. El diseño sismorresistente hace referencia al tipo de diseño de estructuras que estén sísmicamente acondicionada para soportar fuerzas producidas por efectos de un sismo. Sin embargo, se debe considerar que, aunque las estructuras se diseñen y se construyan cumpliendo con todos los requisitos que indican las normas y reglamentos de diseño y construcción, siempre existe la posibilidad de que se presenten sismos más fuertes que los que han sido previstos y que deben ser resistidos por la edificación sin que ocurran daños. Por esta razón no existen edificios antisísmicos.

Estructura de madera: La implementación de la madera como sistema constructivo o como componente estructural ha en compañía al hombre durante toda la historia. En la actualidad la evolución de su tecnología posibilita obtener productos estructurales más fiables y económicos, y su mejor entendimiento, tanto a partir de la perspectiva estructural como ecológica y

medioambiental, la posibilita competir con lo demás de los materiales estructurales.

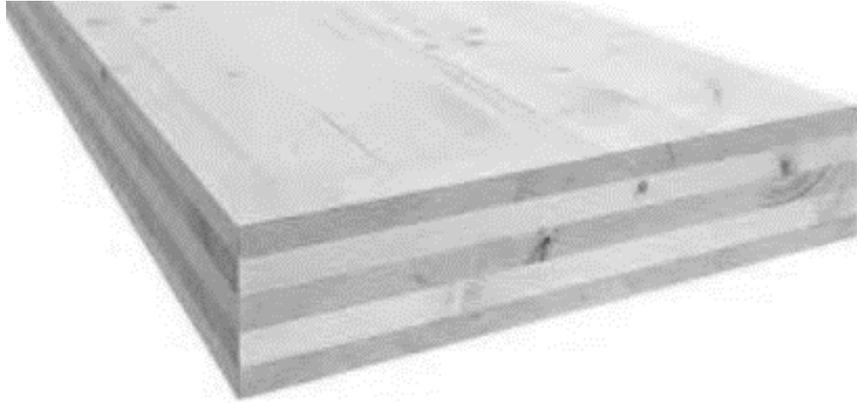
Actualmente la evolución de su tecnología permite obtener productos estructurales más fiables y económicos, y su mejor conocimiento, tanto desde el punto de vista estructural como ecológico y medioambiental, la permite competir con el resto de los materiales estructurales. La Figura 2 muestra un ejemplo de la estructura de una vivienda en madera.

Figura 2 Estructura en madera.



Madera laminada encolada: La madera laminada encolada estructural se apoya en recursos estructurales formados por el encolado de láminas de madera en dirección paralela al eje de las láminas. La madera más usada para hacer perfiles de madera laminada encolada para uso estructural es la procedente de especies coníferas como el pino silvestre, que es bastante exuberante internacionalmente. En verdad, no hay restricciones a cualquier especie de madera continuamente y una vez que cumpla unas condiciones físicas mínimas. La Figura 3 muestra un ejemplo de la forma que tiene la madera laminada encolada.

Figura 3 Madera laminada encolada.



Fuente: [https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/106945-Madera-laminada-encolada-\(MLE\).html](https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/106945-Madera-laminada-encolada-(MLE).html)

Madera como material de construcción: 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 composición suele ser determinada como el grupo de los recursos relevantes de un cuerpo humano, un inmueble u otra cosa. En Arquitectura y la ingeniería civil, se refiere a los recursos que cumplen la capacidad de soportar las cargas, para eso cumplen la condición de seguridad y equilibrio: La primera condición se vincula con los movimientos de los inmuebles, esto previene probables derrumbes a razones de componentes externos como el aire; La segunda condición, la estabilidad, asegura además la inmovilidad, sin embargo, paralelamente no posibilita que se altere la manera del inmueble.

2.5 Marco Contextual

El estudio se fundamenta en una revisión de literatura a nivel mundial, donde el tema principal sea el uso de la madera en la construcción de vivienda. Se tendrá en cuenta el autor, la fecha de publicación, la revista a la que pertenece la información que se consulta y las veces que ha sido tenido en cuenta para consultas, de esta forma se podrá apreciar la relevancia que se le ha dado al tema a lo largo de los años.

2.6 Marco Legal

2.6.1 A nivel internacional se encontró la siguiente normatividad:

Manual del *American Institute of Timber Construction*: es la guía sustancial para edificar con madera estructural laminada, con datos acerca de la obra de madera tramada, incluyendo los últimos códigos, procedimientos de creación y sugerencias de diseño; teniendo como base datos sobre las características de la madera y usos, así como, consideraciones de diseño de especificaciones de sistemas constructivos.

Manual de creación de casa en madera producido por Corma10: El archivo estima diferentes temas importantes para edificar en madera, como las propiedades físicas del material, construcciones de techo, defensa de la madera, fundaciones, entramados, revestimientos y administración de los proyectos, entre otros.

Reglamento argentino de construcciones de madera CIRSOC11: Tiene todos los requisitos involucrados con la conducta mecánico y la durabilidad de las construcciones en madera, define los procedimientos y posiciones en general a ocupar a lo largo del diseño y creación de construcciones con madera aserrada, laminada encolada y cualquier producto derivado de la madera.

2.6.2 A nivel nacional existe la siguiente normatividad:

NSR-10 (Titulo G): Este título hace una pequeña reseña sobre varias reglas como la NTC 2500 hecha por el Icontec, sobre la utilización apropiado de la madera como material de creación; habla sobre las bases para el diseño estructural, de recursos solicitados por flexión, por fuerza axial, las uniones que se tienen que usar, los diafragmas horizontales y muros de corte, armaduras, sistemas estructurales, aserrado y al final, la preparación, construcción, creación, montaje y mantenimiento de la madera.

Manual de diseño para maderas del grupo Andino / Noviembre del 2013: Muestra los primordiales criterios que tienen que tenerse presente para el buen uso de la madera procedente de los bosques tropicales y su uso en el área de la obra.

NTC 2500 (Icontec) 14: La regla tiene las directrices y políticas de la madera, los valores de densidad elemental y equipos estructurales para las especies de maderas colombianas, destacando cuáles son y cómo trabajan las entidades encargadas de regular la producción, sustracción, transporte, transformación y venta de las maderas, destinadas a la obra en Colombia; además tiene como complemento un resumen sobre la identificación botánica de la madera.

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, WOS y Google Académico, se consultó información relacionada con la ingeniería estructural, enfocada en el diseño de estructuras sismoresistentes de madera.

3.3 Fases y actividades específicas del proyecto

Objetivo 1: Realiza una revisión bibliográfica del estado del arte del uso de la madera como material estructural en el diseño de viviendas.

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 la madera en la construcción de vivienda.

Objetivo 2: Describir la evolución que ha tenido el uso de la madera como material estructural en el diseño de viviendas.

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 la construcción de vivienda.

Objetivo 3: Presentar las diversas metodologías para el uso apropiado de la madera en la construcción de vivienda en Colombia.

Actividad 1: Consultar las diversas metodologías existentes a nivel mundial en cuanto al uso de la madera en la construcción de vivienda.

Actividad 2: Presentar las metodologías existentes en cuanto al uso apropiado de lamadera en la construcción de vivienda.

4. Resultados

4.1 Estado del arte del uso de la madera como material estructural

Se realizó un análisis bibliográfico y bibliométrico de las publicaciones realizadas en una ventana de observación de 20 años, medidos entre el 2002 y el 2022 del tema de investigación, a fin de identificar los documentos que tuvieran mayor relevancia. Para tal fin se siguió el procedimiento descrito a continuación:

- Primero se identificó el histórico de artículos, conforme a la clasificación obtenida en la respectiva base de datos. Se tuvieron en cuenta países, revistas y autores.
- En segundo lugar, se identificaron cada una de las variables en la tabla de información, lo primero fue tener en cuenta los parámetros de búsqueda; la producción de la base de datos; producción de acuerdo al país; la revista; los autores; diez artículos principales; afiliación de la revista.

A partir de las limitaciones y sugerencias de revisiones, se utilizó WOS, Scopus, Google académico, para buscar artículos, teniendo en cuenta los siguientes parámetros definidos a continuación:

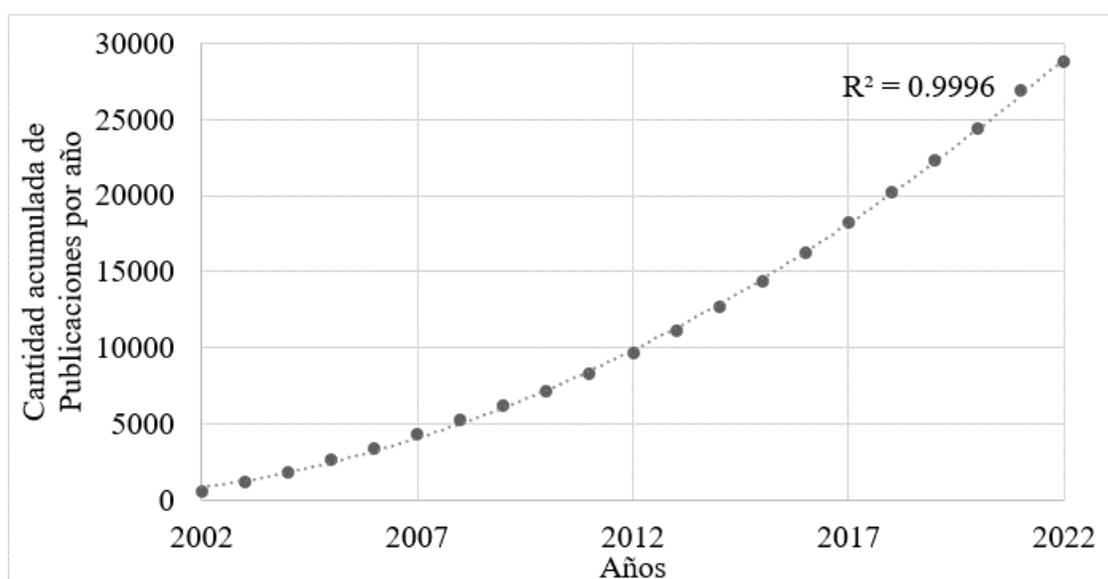
- Términos de búsqueda en inglés para WOS y Scopus: use of wood for house construction - uso de la madera para construcción de vivienda (español para búsqueda en Googleacadémico).
- Campos de búsqueda: título, resumen, palabras claves.
- Periodo de tiempo: del 2002 al 2022, con una fecha de consulta entre octubre de 2021 y mayo de 2022.
- Se incluyeron artículos, libros, capítulos de libros y documentos de conferencias.

4.1.1 Análisis bibliométrico del estudio de la madera

Se hizo un análisis bibliométrico de la cantidad de publicaciones que se realizaron por año

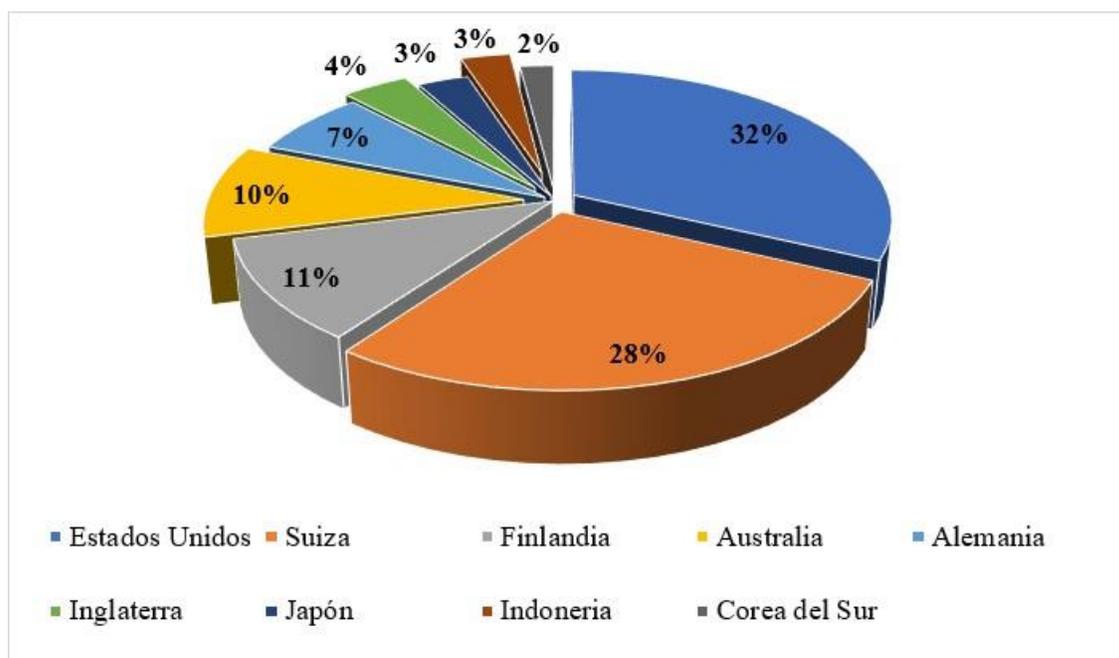
en la ventana de observación 2000-2022. La búsqueda realizada en las bases de datos especializadas WOS, Scopus y Google académico, arrojó alrededor de 28 mil publicaciones realizadas a nivel mundial en torno al estudio de la madera como material estructural para la construcción de viviendas. En la Figura 4 se aprecia la cantidad de publicaciones respecto al tema por años.

Figura 4 Cantidad acumulada de publicaciones por año.



La tendencia de la gráfica mostrada en la Figura 4 refleja que el estudio del tema sigue siendo de impacto a nivel mundial, lo cual, se refleja en el crecimiento constante de las publicaciones. Las primeras publicaciones encontradas se remontan antes del 2000, por lo que, la ventana de observación inicia con un aproximado de 500 publicaciones por año. En el 2011 toma fuerza la investigación en el tema, teniéndose aproximadamente 1000 publicaciones por año en el tema, y ya para el 2017 la cantidad de publicaciones por año llega a ser de 2000. Además, el número de publicaciones sigue aumentando, lo que quiere decir que el tema sigue teniendo grancapacidad de estudio y aún queda información que requiere ser estudiada y analizada.

Figura 5 Países con mayor número de publicación por año del tema de estudio.



La Figura 5 muestra una discretización por países del número de publicaciones (porcentualmente) desarrolladas a partir de trabajos de investigación. Los países que han realizado las respectivas publicaciones científicas relacionadas con el tema propuesto, se aprecian que Estados Unidos ocupa el primer lugar con un 32% del total de las publicaciones a nivel mundial; seguido de, Suiza con 28%; Finlandia con un 11%; Australia con el 10%; Alemania el 7% de las publicaciones, Inglaterra con 4%; Japón con 3%; en menor proporción se registraron países como Indonesia son 3%, Corea del Sur e India con el 2% respectivamente. Es de aclarar que, a nivel nacional, Colombia, solo se encontraron tesis de grado, en total 6 tesis, todas enfocadas en cuanto al uso de la madera en la construcción de vivienda de interés social, las ciudades donde más se han dado esta clase de estudios fueron: Bogotá, Medellín y Manizales. Lo cual, permite apreciar que a nivel internacional se ha venido dando importancia al uso de lamadera en la construcción de vivienda, tal como se señala a continuación:

Los estudios revisados cubren el período de 2002 a 2022, analizan la importancia del uso de la madera en la construcción de vivienda para Alemania o para los países nórdicos. La mayoría de los estudios y documentos de políticas representan solo estimaciones aproximadas de los potenciales de reducción de emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) y no se basan en evaluaciones transparentes del flujo de materiales y proyecciones del mercado de la construcción.

4.1.2 Análisis bibliográfico del estudio de la madera

La cuota de construcción de madera es alta en los países del norte de Europa, que también son exportadores netos de productos de madera con cadenas de valor añadido fuertemente optimizadas dentro de la industria de la madera. Los países que están más orientados al comercio a menudo tienen cuota de construcción de madera más baja mientras que hay una situación más diversa en los países importadores. Escocia, por ejemplo, tiene una cuota muy alta, mientras que los Países Bajos tienen una cuota de construcción de madera baja. En general, se puede decir que la producción y el consumo de productos de madera se concentran localmente en la mayoría de los países con una alta capacidad de producción. Esto también explica por qué la cuota de construcción con madera dentro de cada país también varía significativamente entre las diferentes regiones. En Alemania, la cuota de construcción con madera en 2012 fue más alta en el suroeste (Renania Palatinado y Baden Württemberg) con un 21,6% y un 23,7%, respectivamente. En Francia, la mayor proporción de construcciones de madera utilizadas para construir nuevos edificios se encontraba en el centro este con un 19%. Todas estas regiones tienen una alta densidad forestal y una larga tradición de construcciones de madera. Además de las preferencias de los clientes y una fuerte tradición de una industria basada en la madera, la disponibilidad de materiales de construcciones minerales y metálicas

juega un papel crucial en los tipos de construcción específicos de la región. Una gran proporción de países europeos puede considerarse "autosuficiente" y son capaces de satisfacer su "demanda interna" de minerales de construcción. Los mayores productores de minerales para la construcción son Francia, España, Italia y Alemania, que son todos países con una cuota de construcción de madera relativamente baja del 5% al 15%.

Por otro lado, se puede decir 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. En los últimos 200 años en Estados Unidos se ha dado un gran auge en el uso de la madera para la construcción de vivienda (Shahriar, 2019). 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.

Diversos estudios y referencias documentales se han encontrado en torno al estudio relacionado con el uso de la madera en el sector de la construcción. La madera ha sido considerada desde hace muchos siglos como un material empleado para la edificación. La evolución del uso de la madera en los antiguos sistemas constructivos ha ido mejorando y cambiando, a lo largo de los

siglos, de forma distinta en función de las condiciones ambientales, climáticas y sociales de cada región en particular. Por dicho motivo pueden apreciarse desde sistemas con madera muy simples hasta sistemas altamente sofisticados y exigentes.

La madera por ser un material orgánico aporta al desarrollo sostenible, teniendo en cuenta que es uno de los recursos naturales renovables, siempre y cuando se utilice de bosque destinados para producirla sustentablemente. En este sentido, los sistemas constructivos en madera, en un futuro, se convertirán en los más usados debido a que reducen el tiempo de construcción y brindan la posibilidad de armar parte de los componentes de una edificación fuera de la obra (en talleres). Para aportar al uso de la madera se han desarrollado productos que mejoran las cualidades, brindando una protección frente a factores climáticos, aumentando su vida útil.

La construcción en madera se considera un sistema de construcción sísmo resistente sostenible adaptada al cambio climático. El estudio de dicho tipo de construcción consiste en recopilar información que permitiera reconocer alternativas constructivas que facilitaran la construcción de viviendas adaptadas al cambio climático, sostenibles y que además fuesen sísmo resistentes, definiendo cual sería la más apropiada para cumplir con las anteriores exigencias. Como resultado se concibe que la técnica del bahareque en cementado como la más apropiada gracias a sus propiedades como lo son estabilidad, ligereza y flexibilidad en cuestión de sísmo 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.

En la construcción, y en comparación con otros materiales, la madera resulta ser renovable, reciclable y carbono neutro. Ello contribuye con la mitigación del cambio climático y el

calentamiento global, siendo el material de menor demanda energética para su fabricación.

Debido a su capacidad aislante, superior a cualquier material de uso tradicional en el país, promueve un bajo consumo energético, lo cual implica un sostenido ahorro para el usuario y la sociedad, en un contexto energético deficitario. Asimismo, la madera cuenta con una gran resistencia estructural en relación a su peso, obteniendo un óptimo comportamiento antisísmico, posee una buena resistencia ante el fuego, es durable, estética y cálida.

De hecho, la construcción en seco con madera presenta como principal ventaja el tiempo de ejecución del proyecto, hasta un 60% menor en comparación al sistema tradicional. Esto permite bajar costos, ya que los plazos de la obra se acortan y se cumplen de forma estricta, aspecto difícil de lograr en la construcción tradicional. Por su parte, la aislación térmica es entre 7y 14 veces más efectiva respecto de los materiales convencionales. La construcción con madera podría contribuir con unas 50 mil viviendas extras por año ayudando a reducir el déficit habitacional, principalmente, por la velocidad de ejecución de este tipo de obra.

El cambio climático hace pensar en la posibilidad de construir rascacielos en madera, teniendo en cuenta el crecimiento demográfico que se da actualmente en el mundo y pensando en una construcción de ciudades sostenibles. Por las características propias de la madera es más recomendable construir en madera que en acero y concreto, debido al cambio climático; se necesitan técnicas de construcción sostenibles y materiales que respondan a la necesidad de producir menos impacto ambiental, durante la producción del material y la ejecución de la obra.

Hermoso y 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.

4.2 Evolución que ha tenido el uso de la madera como material estructural en el diseño de viviendas

En el presente apartado se describe la historia y la evolución que ha tenido el uso de la madera como material para construcción de edificaciones.

4.2.1 Historia y evolución

Según, Salman y Hussain (2010) la madera es uno de los materiales de construcción más antiguos. Durante siglos se ha demostrado que podemos respaldar su posición junto al desarrollo de las nuevas tecnologías de construcción.

La obra con madera empezó mucho anteriormente que con la roca. Los primeros materiales utilizados fueron las cañas, los huesos, la dermis, ramas y ramitas, como parte de la composición. Al respecto, Reynolds (2012), apunta que la obra se transformó en viviendas sobrepilotes de madera, adoquinadas y enmaderadas. Al octavo milenio anterior a Cristo la obra con madera se había extendido por todo el mediterráneo. Entonces aquí aún crecían bosques densos; Grecia, Turquía y Palestina no eran una estepa sin ropa. Con la enorme proporción de materiales de creación

que había entonces, las viviendas de madera, y el poblado, crecieron como hongos. Una de las primeras localidades de madera se nombraba Jericó (mencionada en el Antiguo Testamento). En la vieja Grecia, se construían de madera, aparte de las viviendas, la mayor parte de las iglesias e inmuebles públicos.

Después, inició a crecer un material más fino, insuficiente para la obra. Se comenzó a utilizar el entramado de madera (armazón), las viviendas de madera con relleno (usadas primero en el Antiguo Egipto). Los griegos comenzaron a edificar con roca, y los romanos con hormigón. Lentamente la utilización de la madera en la obra avanzaba hacia el norte. Los primordiales centros de zonas forestales eran los Alpes, los Cárpatos, el Bosque de Baviera, Inglaterra y las regiones del norte ricas en bosques (Escandinavia y Rusia moderna).

Del mismo modo, Mauricio et al. (2013) indican que, en el interior de Europa, la obra con madera comenzó hace un largo tiempo. Ejemplificando, en Polonia, está una aldea de cabañas de madera de hace casi 2500 años. A fines de la Edad Media las reservas forestales comenzaron a escasear. En Polonia se prohibió por un periodo la utilización de la madera. Mucha madera se empleaba como leña para el horno y la obra naval.

El caso en Escandinavia era bastante distinto, a medio siglo XII estaba experimentando su arquitectura de madera en Noruega (todavía se conservan unas 20 iglesias de la época). La demanda de la obra con roca incrementó gracias a la escasez de materiales en la parte sur y centro del continente europeo ha causado una moda y Rusia y otros territorios comenzaron a imitarlo.

Con el desarrollo industrial del siglo XIX y XX en la industria de la obra, las viviendas de

madera se quedaron “atrasadas” y comenzaron a decaer.

En las naciones orientales, la obra con madera se derivó en China, sin embargo, rápido las reservas forestales empezarían a declinar. A la inversa, en Japón, esta tradición era bastante avanzada. Las viviendas fueron construidas teniendo presente los seguidos terremotos. La columna se secundaba firmemente en la piedra de roca y la planta se elevaba por arriba del suelo. Como consecuencia, ahora tenemos la posibilidad de ver templos japoneses del final del primer milenio de nuestra era, la iglesia Todai Yi, era la obra más enorme de todo el mundo.

Finalmente, del siglo XX, la utilización de la madera en la obra vuelve a tomar fuerza. Las tecnologías modernas permiten arreglar los fallos de la madera como material de creación: la tendencia a la decadencia (antiséptico), fuego (ignífugos), etcétera. La inquietud de diseño, que no se puede llamar reducida. Sin embargo, lo más relevante es que el árbol es un material respetuoso con el medio ambiente, y el planeta cada vez se preocupa más por el medio ambiente. Según, Shahriar (2019) en los Estados Unidos, Canadá, Finlandia, Japón, Corea del Sur, Alemania y Francia la obra con madera se está desarrollando más veloz que otras industrias. Como consecuencia, el número de viviendas de madera en los Estados Unidos alcanzó en 95% del total (un millón y medio de domicilios por año), superando a Finlandia (90% de viviendas demadera).

En la Unión Europea la construcción de casas de madera cuenta con el apoyo del gobierno. Para 2010 el plan era alcanzar el objetivo de 75-80% de viviendas de madera. Y en Japón, todas las casas unifamiliares son de madera (introducidos 300.000 por año).

4.2.2 La madera en la arquitectura antigua china, japonesa y occidental

Arquitectura en la antigua china y en japon

El término arquitectura oriental puede resultar confuso, tradicionalmente se ha empleado para englobar la arquitectura local de la zona geográfica que comprende la India, Indochina, Indonesia, China y Japón; regiones que se encuentran dentro del Lejano Oriente y Oriente Medio. Estos países han dejado en herencia un amplio legado artístico y cultural, difícilmente abarcable en un solo conjunto. El estudio y conocimiento de la arquitectura de oriente implica el enriquecimiento de nuestra visión estética e histórica. Ejemplos arquitectónicos como las estupas de la India, las pagodas de Extremo Oriente, la Gran Muralla China o los grandes templos, tanto de Japón como de China, o los del Sudeste asiático evocan en nosotros un sentimiento de maravilla, emoción y misticismo.

En los primeros siglos y durante décadas en oriente se han utilizado como materiales principales de construcción la piedra, la madera y el ladrillo. Además, se ha desarrollado en la zona arquitectura labrada en la roca, la cual se desarrolló principalmente en cavernas. La madera conserva un puesto dominante en regiones como Asia Central, China o Japón; no obstante, ocupa un puesto secundario, detrás del ladrillo y la piedra, en lugares como India.

La arquitectura en madera fue predominante en el Extremo Oriente, sin embargo, tuvo también otras zonas de difusión, como algunas regiones centroasiáticas donde palacios enteros estaban contruidos en madera. Además, durante el periodo más antiguo de la arquitectura india, existe una derivación inequívoca de la arquitectura en madera. Así, las juntas en piedra funcionando de la misma forma que los ensamblajes en madera, e igualmente ocurre con los motivos ornamentales de las cuñas de fijación o de los clavos metálicos. Usualmente se tratan

de motivos florales y rosetones, pero a veces aparecen también bajorrelieves. La tradición de la arquitectura de la madera persiste aún hoy día.

La arquitectura china antigua en madera es poco conocida en el mundo occidental y en la era moderna, ya que para poder estudiarla se debe retroceder varios miles de años en la historia. Ciertas características comunes de la arquitectura china han sido unificadas en un vocabulario que ilustra formas y métodos chinos únicos, debido a la falta de conocimiento de sus raíces la terminología ha perdido parte de su significado original. La arquitectura china parece uniforme debido a la temprana estandarización que prescribía características estructurales uniformes mediante planos y manuales pasados de generación en generación. Lo cual, aporta uno de los logros principales en el desarrollo de la industria de la construcción en madera como lo es el entramado de madera portante. Dicho sistema está conformado por una red de soportes de madera intercomunicados, de tal forma que se crea un esqueleto de construcción. Lo cual, es considerado uno de los más grandes aportes de la cultura china al desarrollo mundial en la tecnología de la ingeniería estructural de la madera. Contrario a la cultura occidental, en la antigua China los muros se consideraban solo de cerramiento, no como parte de un sistema que soporta y transmite cargas. (Pacini, 2019).

El *Dougong* es un elemento estructural originario de la antigua China, el cual también fue muy utilizado en Japón. El uso de dougong apareció por primera vez en edificios de finales de los siglos antes de Cristo y evolucionó hasta convertirse en una red estructural que unía pilares y columnas al marco del techo. Dougong fue ampliamente utilizado por los antiguos chinos durante el período de primavera y otoño (770–476 a. C.) y se convirtió en un conjunto complejo de partes entrelazadas en su apogeo en los períodos Tang y Song. Las piezas se ensamblan únicamente

mediante carpintería sin colas ni elementos de fijación, lo que requiere una carpintería precisa.

Dougong es parte de la red de soportes de madera esenciales para la estructura de madera de la construcción tradicional china. Debido a que los muros de estas estructuras no son de carga (muros cortina), a veces están hechos de celosía, barro u otro material delicado. Las paredes funcionaron para delinear espacios en la estructura en lugar de soportar el peso. La Figura 6 muestra un esquema de un *Dougong* utilizado en edificaciones de madera de la antigua China y Japón.

Figura 6 Esquema de un *Dougong* de la antigua China.



Por otra parte, los techos y cielo rasos decorativos en madera también son parte de la arquitectura china y japonesa. Dichos techos que se utilizaron en la construcción de templos, eran elaborados artesonados de madera (*zaojing*) rodeados en el perímetro por un bastidor redondo, cuadrado o de forma poligonal con escuadras que se proyectan hacia adentro y arriba desde su base. En el entramado de madera se colocaban lirios de agua u otras plantas acuáticas. Las imágenes de la Figura 7 muestran techos y cielo rasos decorativos soportados sobre *Dougong* de la antigua China.

Figura 7 Techos decorativos soportados sobre Dougong de la antigua China.



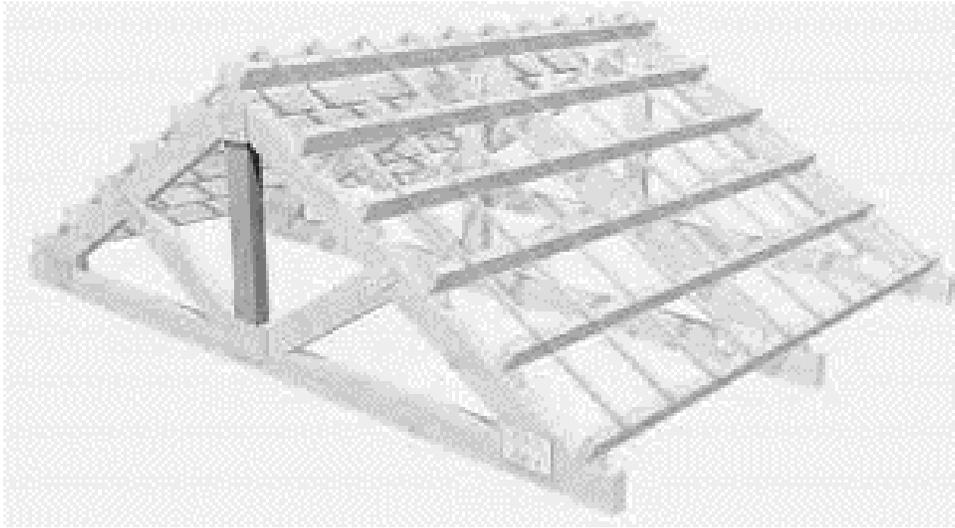
Arquitectura Occidental

La arquitectura de Europa occidental se puede dividir en cristiano temprano y prerrománico, incluidos merovingio, carolingio, otomano y asturiano. Si bien estos términos son problemáticos, no obstante, sirven adecuadamente como entradas en la era. Las consideraciones que entran en los elementos italianos versus elementos del norte, españoles y bizantinos, y especialmente las maniobras religiosas y políticas entre reyes, papas y diversos funcionarios eclesiásticos. Dentro de los elementos estructurales de madera que se conocen en la tradición de la Europa occidental se tiene el pendolón sencillo, el puente de cercha de pendolón, la cercha gótica y el techo normando.

- El **pendolón sencillo de madera** es un madero estructural colocado de forma vertical que va desde la parhilara al tensor inferior. La función del pendolón es impedir la curvatura del cordón inferior de la cercha y cortar la luz de pandeo si esta estuviese sometido a fuerzas de compresión en algún estado de cargas. En algunos tipos de construcciones se les colocan tornapuntas en su unión con el cordón superior y en otros puntales debajo de ellos. El pendolón se extiende verticalmente

entre la viga transversal y el vértice de una cabreada triangular. El sistema de pendolón nace con los romanos y fue muy utilizado para soportar techos en la arquitectura medieval y para construir puentes simples de luces reducidas. La Figura 8 muestra la ubicación de un pendolón sencillo que sostiene una cercha de madera.

Figura 8 Pendolón sencillo de madera.



- La **cercha gótica o Hammerbeam roof** son armazones estructurales de madera que se utilizan para soportar techos u otras estructuras pesadas. Fabricadas a partir de una serie de triángulos unidos por una viga cumbrera y correas, las cerchas de madera son estructuralmente ventajosas debido a su buena relación resistencia-peso y su correspondiente capacidad para soportar grandes luces. Sin embargo, estos componentes estructurales también pueden usarse con fines estéticos y, cuando se dejan expuestos, pueden complejizar, embellecer y abrir un espacio interior. La Figura 9 muestra una cercha gótica de madera.

Figura 9 Cercha gótica de madera.



•El **techo normando** hace referencia a un tipo de techo considerablemente inclinado que está soportado por lo que se denomina una cabreada normanda. La cabreada normada consiste en una cabreada con un pendolón central con tornapuntas que es en lo que se apoya la cumbrera del techo. El nombre hace referencia a un tipo de construcción común en la zona noroeste de Francia incluyendo la propia Normandía, pero especialmente Bretaña y el Finisterre. La Figura 10 muestra un techo normado de madera.

Figura 10 Techo normando de madera.



4.2.3 La construcción en madera en Latinoamérica

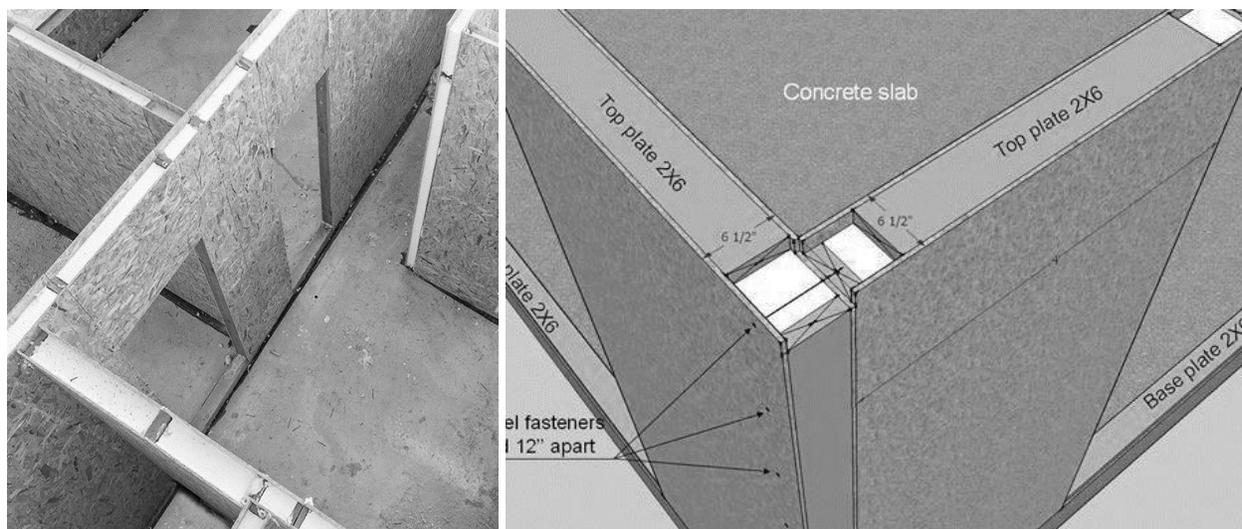
Los países latinoamericanos presentan una incipiente cultura de construcción en madera, concentrada principalmente en la construcción de viviendas residenciales de uno y dos pisos.

Generalmente, el primer piso está construido con materiales tradicionales, como concreto, acero, mampostería, entre otros, y el segundo piso de madera. Sin embargo, algunos países que disponen de un recurso forestal importante están abriendo camino a construcciones con madera de mayor altura.

A principios del siglo XIX se realizan las primeras construcciones sobre bastidores de madera, a dicho sistema se le conoce como *Balloon frame*. Dicho sistema de construcción realizada a base de listones de madera de diferentes secciones y separados aproximadamente 400mm permitía levantar edificios de hasta tres plantas con un bajo costo, debido principalmente a tres factores, la utilización de madera del lugar, el desarrollo de la sierra de vapor, así como la fabricación automatizada de clavos, es decir, la evolución de la industria supuso una evolución en la historia de la construcción industrializada”. La Figura 11 muestra un ejemplo de sistema constructivo *Balloon Frame*.

se ven reducidas, lo que puede significar una baja en los costos generales de ejecución. Otra ventaja es que permite llevar a cabo una obra limpia, sin pérdidas ni desechos.

Figura 12 Sistema de panel Structural Insulated Panels (SIP).



En Colombia existen diferentes empresas madereras que ofrecen casas prefabricadas en madera; sin embargo, no se ha forjado la cultura de usar estos sistemas constructivos para obtener beneficios durante la obra y vida útil de la edificación; sin contar que la mayoría de personas lo ven como un lujo por lo que solo lo utilizan para cabañas o por su precio es de difícil acceso para personas con bajos recursos económicos. La ausencia de soluciones arquitectónicas adecuadas y la falta de conocimiento para un buen mantenimiento, hace difícil la implementación de estos sistemas constructivos modulares en madera. A nivel nacional existe gran variedad de sistemas prefabricados en diferentes materiales, entre estos la madera, optando por otros materiales como el concreto. Es así como las empresas que ofrecen casas prefabricadas trabajan con materiales como el concreto y el PVC; sólo hay una empresa en Cali llamada Prefabricados Construexpress Soluciones Integrales de Vivienda que ofrece casas prefabricadas en madera; sin embargo, en

Medellín hay varias empresas que comercializan madera aserrada o derivados de esta como los paneles.

4.2.4 Importancia de la evolución de la madera como materia prima en construcción de vivienda

Cuando el ser humano dejó de ser nómada y se convirtió al sedentarismo, empezó a construir chozas o mocambos, dicho término corresponde a un refugio rudimentario formado por un armazón de cañas de bambú o troncos de madera rellenos de bambú, arbustos, paja o por cualquier combinación de los materiales antes mencionados. Una cabaña tiene un techo de paja, arbustos, paja, etc. De influencias indígenas y africanas (Freyre 2006), se han encontrado cabañas antiguas en África, Asia y América, con estructuras de madera de hasta 10 metros o más de luz.

La tierra apisonada se forma apisonando mortero de arcilla en moldes, con los refuerzos estructurales y el marco del techo construido con madera. La Enciclopedia Británica (2014) aclara que la tierra apisonada se basa en la compactación de ciertos suelos, que se apisona en un molde en forma de caja, donde dos tablas de madera están separadas por un perno espaciador. Luego, el suelo se apisona en estas capas individuales, respectivamente. El suelo húmedo se distribuye en los mohos, no superando los 7 cm por capa, apisonando el suelo a 30 cm de altura (Viñuales 2007).

Zarzo y barro es un término que se usa para denotar una casa con marcos estructurales hechos de madera y bambú, que se llenan manualmente con una mezcla de barro, estiércol, paja y arena. Graham (2004) afirma que sus tallos se originan en edificios primitivos, donde los muros de tierra podrían usarse como base para el techo (con relativa facilidad), o podrían formarse muros más altos para levantar el techo del suelo. Estas estructuras incluyen marcos de bambú o madera,

generalmente dispuestos en dos direcciones (horizontal y vertical, o con riostras) entre los pisos, creando una estructura independiente (Viñuales 2007).

Un marco de entramado de madera o colombage denota una casa formada con un marco de madera maciza, que está llena de mampostería, ladrillos, adobe o rocas. Su origen se remonta a la región fronteriza entre Francia y Alemania. Tosolini (2008) destaca que el colombage se usó mucho en la construcción rural vernácula. Además, los elementos de madera verticales y horizontales se limitan a la parte superior de la fachada. Un marco de entramado de madera se hace con vigas cuadradas verticalmente, normalmente arriostradas, y los espacios entre las partes se rellenan con varios materiales.

Laft es una técnica de vivienda escandinava realizada con troncos de madera, utilizando juntas para las esquinas de las paredes (Mello 2007). Sus troncos se cortan para poder colocarlos horizontalmente uno encima del otro y hacer muescas en las paredes (Clementz y Flatland 2008). Laft hus (o laft house) es simple y rápido de construir; sin embargo, existe el riesgo de corrientes de aire y fugas, que pueden reducirse sellando los troncos de madera con cáñamo y alquitrán (Bonde et al. 2014).

Las cabañas de troncos son casas típicamente norteamericanas hechas con troncos de madera, similar al laft del norte de Europa, que utilizan madera redonda o tallada en bruto. Neufert y Neff (2013) afirmaron que el antiguo método de vivienda se produce mediante prácticas artesanales con madera maciza. Estas vigas tienen muescas en los extremos, lo que hace que cada miembro sea inamovible cuando se sujeta a las vigas de arriba y abajo (Kniffen y Glassie 1966). Rowell y col. (1977) agrega que tales estructuras se pueden construir con troncos verdes, pero

existen algunas limitaciones cuando se utilizan troncos pequeños. Los huecos de los muros de troncos de madera están llenos de astillas y barro.

La casa de troncos se fabrica con mayor frecuencia utilizando troncos de madera industrializados, con la prefabricación de elementos y el mecanizado / torneado de troncos. Kretschmann (2010) afirma que los troncos se forman en una variedad de formas para casas de troncos, por ejemplo, las superficies verticales pueden variar con fines estéticos, mientras que las superficies horizontales generalmente reflejan consideraciones estructurales y térmicas. Los troncos mecanizados o los tablonés que se superponen están interconectados estructuralmente por juntas o ranuras (Neufert y Neff 2013). La casa de troncos es muy popular en el hemisferio norte.

Tablilla y revestimiento son términos que se utilizan para describir una casa compuesta por paredes verticales de tablillas de madera espaciadas. Además, los espacios entre cada tablero están sellados con listones delgados de madera. Según Berriel (2009), las estructuras de tablilla y friso son autoportantes, y la estructura está formada por los marcos superior e inferior, los cuales están interconectados a través de montantes unidos a la estructura del techo y las estructuras adicionales, como el cerramiento horizontal (pisos y techos) y verticales (tableros y revestimientos) para sellar las juntas. La estructura se caracteriza por la textura vertical exterior de las paredes, frecuentemente fabricadas con pino (Imaguire Junior e Imaguire 2011). Esta tipología de madera eslava es popular en los estados del sur y sureste de Brasil.

Las paredes dobles de tablillas clavadas están formadas por una pared sándwich muy simple, con dos revestimientos de tablillas clavadas en un marco compacto de madera aserrada. Frecuente en Brasil, las tablillas externas suelen estar orientadas horizontalmente y la cobertura

interna está dispuesta verticalmente, lo que garantiza un acabado diferente para estas superficies. También es posible una orientación inversa, a pesar de un uso ineficaz de la materia prima, es decir, tablillas de madera.

La tipología de tablillas horizontales entre montantes se refiere a la carcasa de madera producida con tablillas horizontales unidas con juntas machihembradas y estabilizadas lateralmente por montantes dentados. Popular en Brasil, esta técnica ha sido ampliamente utilizada en casas de madera para personas de mayores ingresos, especialmente como una segunda opción para casas junto a la playa, cabañas, cabañas y chalés (Cesar 2002).

Generalmente producida en kits, esta tipología tiene partes autoapagables realizadas con madera verde, cuyas paredes autoportantes sufren ajustes a lo largo del montaje y la vivienda, es decir, en su período inicial de ocupación.

Los marcos de madera dan como resultado casas con marcos robustos hechos con bloques de madera y sin sellado independiente, por ejemplo, postes y vigas o dintel, y marcos de varillas. Wacker (2010) define el entramado de madera como una estructura de madera autoportante fijada con conexiones entre elementos de madera, con el entramado estructural en su base. En todo el mundo, una estructura de madera tradicional está hecha de grandes maderas aserradas conectadas entre sí mediante juntas fabricadas a mano (p. Ej., Mortaja y espiga), que suelen incluir carpintería sofisticada.

Las casas con estructura de madera se pueden dividir en dos tipos de construcción según su estructura de pared: plataforma y estructura de globo. Estos dos estilos de estructura de maderase

distinguen de la construcción con estructura de madera por el uso de madera liviana, delgada, fresada en fábrica y simplemente cortada con conexiones clavadas. La fabricación adecuada de madera requiere cuadrillas compactas, una mano de obra mínimamente calificada y herramientas rudimentarias. El marco de globo es un tipo de marco ligero de madera, formado por esqueletos hechos de largos trozos de madera y sellados con robustos paneles de madera independientes, los marcos de globos tienen montantes que se extienden desde el alféizar del primer piso hasta la placa superior o la viga del segundo piso, mientras que la pared con marco de plataforma está completa para cada piso. La plataforma-marco es la evolución moderna y racionalizada del globo. American Wood Council (2001) agrega que las vigas de madera de su primer piso están completamente cubiertas, formando una plataforma sobre la cual se erigen las paredes exteriores e interiores. Thallon (2008) afirma que la plataforma es el sistema de vivienda más popular que se utiliza actualmente en Norteamérica.

Las unidades de casas móviles o casas modulares son casas transportables fabricadas en módulos estructurales de madera, basadas en técnicas de madera de entramado “emparedado” o panelizado (tableros CLT). Gutiérrez (2008) indica que estos sistemas se derivan de los remolques, específicamente aquellos de mayores dimensiones con el propósito de vivienda permanente, y este término se refiere a unidades habitacionales fabricadas en plantas industriales, transportadas e instaladas en cualquier lugar. Los paneles se producen fuera del sitio, utilizando el sistema de marco de plataforma, y luego se ensamblan en el sitio. Dichos paneles se dimensionan sobre la base del tamaño estándar de la placa y se emplean para construir varias combinaciones de espacios (Marchesi y Ferrarato 2015).

Las casas náuticas consisten en casas flotantes en madera y paneles, como yates y casas

flotantes. Según Parry (2000), algunas casas flotantes no están motorizadas porque generalmente están amarradas, se mantienen estacionarias en un punto fijo y, a menudo, están atadas a tierra para proporcionar servicios públicos. Por el contrario, muchas casas náuticas pueden operar por sus propios medios. Las casas flotantes son populares en Holanda, Alemania y Francia.

Las casas sobre ruedas son viviendas vehiculares muy populares en América del Norte, utilizadas para vivienda y / o recreación. Por lo general, se fabrican con madera y paneles, como camiones, remolques y autocaravanas. Eure (2005) afirma que la mayoría de las autocaravanas están diseñadas para una carrocería insertada en una plataforma de autobús (chasis de autobús), cuyas carrocerías están hechas estructuralmente de madera, aluminio o una combinación de ambos, con molduras de madera y alfombras y baldosas mejoradas.

4.2.5 Tipos de maderas y sus usos

Según la dureza de la madera se clasifica en madera blanda y madera dura, se describe a continuación:

- **Maderas duras:** son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento, por lo que son más densas y soportan mejor las inclemencias del tiempo, si se encuentran a la intemperie, que las blandas. Estas maderas proceden de árboles de hoja caduca, que tardan décadas, e incluso siglos, en alcanzar el grado de madurez suficiente para ser cortadas y poder ser empleadas en la elaboración de muebles o vigas de los caseríos o viviendas familiares. Son mucho más caras que las blandas, debido a que su lento crecimiento provoca su escasez, pero son mucho más atractivas para manufacturar muebles con ellas. (ver Figura 13) También son muy empleadas para realizar tallas de madera. Entre las maderas duras se tiene a las siguientes:

- **Roble:** Es de color pardo amarillento. Es una de las mejores maderas que se conocen; es

muy resistente y duradera.

- **Nogal:** Es una de las maderas más nobles y apreciadas en todo el mundo.
Se emplea en muebles y decoraciones de lujo.
- **Cerezo:** Su madera es muy apreciada para la construcción de muebles. Es muy delicada porque es propensa a sufrir alteraciones y a la carcoma.
- **Encina:** Es de color oscuro. Tiene una gran dureza y es difícil de trabajar.
Es la madera utilizada en la construcción de cajas de cepillo y garlopas.
- **Olivo:** Se usa para trabajos artísticos y en decoración, ya que sus fibras tienen unos dibujos muy vistosos (sobre todo las que se aproximan a la raíz).
- **Castaño:** Se emplea, actualmente, en la construcción de puertas de muebles de cocina. Su madera es fuerte y elástica.
- **Olmo:** Es resistente a la carcoma. Antiguamente se utilizaba para construir carros.

Figura 13 Maderas duras



Fuente: <https://www.complementosdemadera.com/mas-informacion/tipos-de-maderas-naturales-que-existen/>

- **Maderas blandas:** Estas maderas se obtienen de los árboles de hoja perenne (coníferas).

En carpintería sólo se usa el 25% de todas las maderas blandas. Todas las maderas blandas tienen poros cerrados (poros pequeños) que apenas se perciben en el producto acabado. Las maderas blandas más usadas son el cedro, el abeto, el pino y la picea. El término madera blanda es una denominación genérica que sirve para englobar a la maderade los árboles pertenecientes a la orden de las coníferas. La gran ventaja que tienen respecto a las maderas duras, procedentes de especies de hoja caduca con un periodo de crecimiento mucho más largo, es su ligereza y su precio, mucho menor. Este tipo de madera no tiene una vida tan larga como las duras, pero puede ser empleada para trabajos específicos. Por ejemplo, la madera de cedro rojo tiene repelentes naturales contra plagas de insectos y hongos, de modo que es casi inmune a la putrefacción y a la descomposición, por lo que es muy utilizada en exteriores. La manipulación de las maderas blandas es mucho más sencilla, aunque tiene la desventaja de producir mayor cantidad de astillas. Además, la carencia de veteado de esta madera le resta atractivo, por lo que casi siempre es necesario pintarla, barnizarla o teñirla.

Figura 14 Maderas blandas



Fuente: <https://www.complementosdemadera.com/mas-informacion/tipos-de-maderas-naturales-que-existen/>

Dentro de las maderas blandas se destacan las siguientes:

- **Álamo:** Es poco resistente a la humedad y a la carcoma. En España existiendo especies: el álamo blanco (de corteza plateada) y el álamo negro, más conocido con el nombre de chopo.
- **Abedul:** Árbol de madera amarillenta o blanco-rojiza, elástica, no duradera, empleada en la fabricación de pipas, cajas, suecos, etc. Su corteza se emplea para fabricar calzado, cestas, cajas, etc.
- **Aliso:** Su madera se emplea en ebanistería, tornería y en carpintería, así como en la fabricación de objetos de pequeño tamaño. De su corteza se obtienen taninos.
- **Alnus glutinosa:** Su madera se emplea en ebanistería, tornería y en carpintería, así como en la fabricación de objetos de pequeño tamaño. De su corteza se obtienen taninos.
- **Alnus incana:** Su madera es blanda y ligera, fácil de rajarse. Es utilizada en entallas, cajas y otros objetos de madera.
- **Maderas Resinosas:** Se utiliza en muebles y en la preparación de ciertos tipos de papel. Varias maderas resinosas son el Cedro y el ciprés.
- **Maderas Finas:** Se usan en aplicaciones artísticas, escultura y arquitectura, para muebles, aparatos musicales y objetos de ornamento.
- Por último, se tienen las **Maderas Prefabricadas:** Las cuales se elaboran con restos de maderas, como virutas de resto del corte.

4.2.6 Propiedades físicas de la madera

La madera es un conjunto de células tubulares paralelas al tronco, en forma radial, de unos 5 mm de longitud, cementadas entre sí y compuestas principalmente de celulosa y lignina. Se

constituye de un 60 a 70 % de celulosa que es la que da la estructura o esqueleto a la célula y de un 15 a 25 % de lignina que proporciona resistencia y actúa como cementante. Los componentes mencionados definen las características mecánicas de la madera, a saber: la resistencia a la compresión, la resistencia a la tensión, la resistencia a los esfuerzos cortantes, el módulo de elasticidad y la dureza. En general, la madera se encuentra formada por dos tipos de componentes (Primarios y Secundarios), y cuyas cantidades varían según el tipo de árbol de que se trate. Los elementos llamados primarios, que definen sus propiedades físicas y mecánicas, están compuestos por un 50% de celulosa, 23-26% de hemicelulosa y 24-27% de lignina. Los elementos llamados secundarios son importantes impregnaciones, extrañas a la propia pared celular, su composición es: 50% de carbono, 44% de oxígeno, 6% de hidrógeno, 0.5% de cenizas y 0.1% de nitrógeno. (Fernández, 2001).

Las propiedades físicas de la madera definen que sean duras y blandas según el árbol del que se obtienen. La madera de los árboles de hoja caduca se llama madera dura y la madera de coníferas se llama blanda, con independencia de su dureza. Así, muchas maderas blandas son más duras que las llamadas maderas duras. Las maderas duras tienen vasos largos y continuos a lo largo del tronco y las blandas no, los elementos extraídos del suelo se transportan de célula a célula.

Los nudos son áreas del tronco en las que se ha formado la base de una rama. Cuando la madera se corta en planchas los nudos son discontinuidades o irregularidades circulares que aparecen en las venas. Estos suelen debilitar las tablas y dejar agujeros, por eso no es deseado; a menos que resulten vistosas para uso decorativo, revestimiento o fabricación de muebles. La Figura 15 muestra el corte transversal del tronco de un árbol.

Figura 15 Corte transversal del tronco de un árbol.

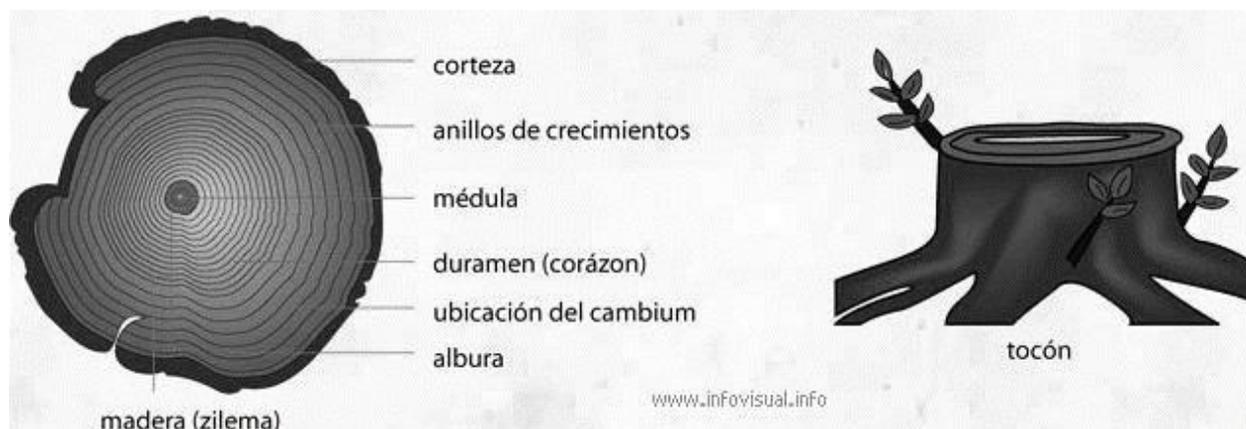
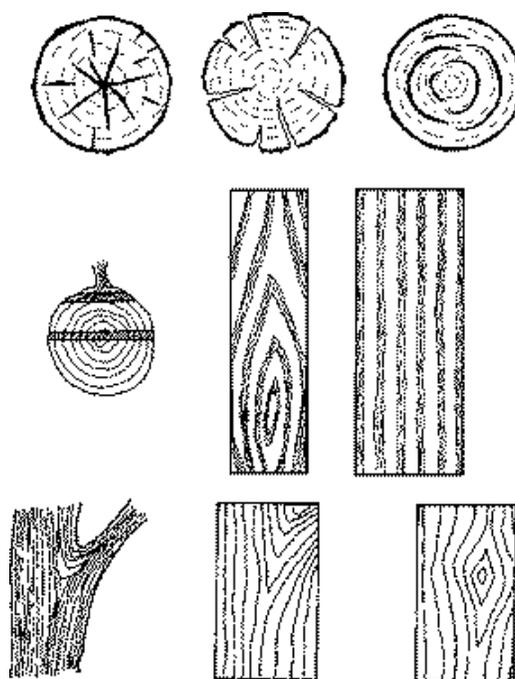


Figura 16 Características para clasificación visual de la madera.



La clasificación visual solo toma en cuenta características y alteraciones que se han producido durante el crecimiento del árbol (ver Figura 16), entre ellas se destacan las siguientes:

- **Acebolladuras:** son grietas entre los anillos de crecimiento que provocan la separación entre ellos de forma total o parcial. Suelen producirse por el viento en árboles aislados

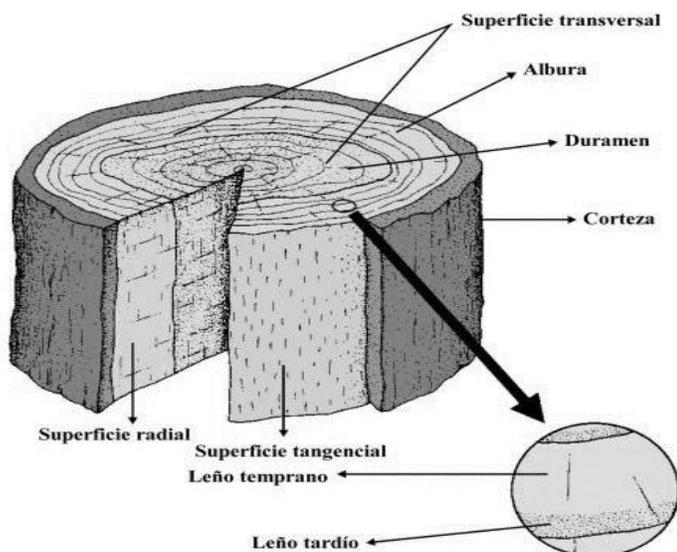
- **Bolsas de resina:** huecos llenos de resina en el cambium de algunas coníferas. Suelen abarcar la línea de un anillo.
- **Corazón hueco:** destrucción del árbol debido a la pudrición roja en árboles huecos.
- **Corazón estrellado:** división del corazón y/o la albura mediante grietas. Cuando éstas tienen forma de cruz se denomina estrellado. Estos defectos producen una extrema sequedad.
- **Deformación:** se trata de un defecto de secado. La madera después de haber sido trabajada sufre diversas deformaciones durante el proceso de curado (secado), debido a la pérdida natural de humedad en sus fibras. Los efectos son diferentes si se trata de tablas, vigas o bien soportes de sección circular.
- **Fendas:** son grietas longitudinales debidas a los bruscos cambios de temperatura debido a una desecación rápida por insolación, desgarrando el tronco del árbol en el sentido de los radios medulares con el consiguiente debilitamiento de la madera.
- **Hendidura:** grieta que recorre todo el espesor del tronco, desde el corazón hasta la corteza. Es producida por la congelación de la savia debido al frío, desprendiéndose la madera por gelifración.
- **Inclusión en la corteza:** ocurre cuando la parte muerta de la corteza, permanece dentro del tronco del árbol, creciendo éste a su alrededor
- **Lagrimales:** pudrición de una zona como resultado de que la savia estuvo en contacto con agentes atmosféricos al haber sido arrancada una parte del árbol; por ejemplo, una rama.
- **Madera bronca:** son fibras trenzadas que pueden darse en la madera de árboles como Chopo, Aliso o Roble. Generalmente esta madera se desecha.
- **Nudos:** se presentan en una madera quebradiza formada por desviaciones de las fibras que en principio formarían una rama, pero que por circunstancias adversas este crecimiento se

ha interrumpido recubriéndose con madera nueva. Existen dos tipos, los vivos, que están producidos al cortar una rama y son de color claro, y los muertos, formados por tejidos sin vida que le han dado su coloración oscura característica, indicando que dicha zona estuvo viva

4.2.7 Características estructurales de la madera

La madera es un material orto-trópico encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen cada año y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. Las plantas que no producen madera son conocidas como herbáceas. Como la madera la producen y utilizan las plantas con fines estructurales es un material muy resistente y gracias a esta característica y a su abundancia natural ha sido utilizada ampliamente por los humanos, ya desde tiempos muy remotos. La madera cortada y seca se utiliza para muy diferentes aplicaciones.

Figura 17 Estructura de la madera



La estructura de la madera se compone del durame, albura, corteza y cambium (ver Figura 17).

Durame. Es la parte de la madera localizada en la zona central del tronco. Representa la parte más antigua del árbol, tiende a ser de color oscuro y de mayor durabilidad natural. El duramen (o corazón) es la madera dura y consistente, propiamente dicha, está formada por células fisiológicamente inactivas y se encuentra en el centro del árbol. Las diferencias con la albura son que es más oscura y no circula la savia, de ahí sale lo del color más oscuro.

Albura. Corresponde con la parte joven de la madera, es decir la formada en los últimos ciclos de crecimiento del árbol. Es la madera de más reciente formación y por ella viajan la mayoría de los compuestos de la savia que se parecerían a nuestro sistema sanguíneo. Las células transportan la savia que es una sustancia azucarada que la hace vulnerable a los ataques de los insectos. Es una capa más blanca porque por ahí viaja más savia que por el resto de la madera.

La **corteza.** Es la capa más externa del árbol y está formada por las células muertas del árbol. Esta capa es la protección contra los agentes atmosféricos.

El **cambium.** Es la capa que sigue a la corteza y da origen a dos capas. La capa interior o capa de xilema que forma la madera y una capa exterior o capa de floema que forma parte de la corteza.

4.2.8 Obtención de la madera: la celulosa y la lignina

Esta parte se divide en varios procesos, los cuales se mencionan a continuación:

a) **Apeo, corte o tala.** En este proceso intervienen los leñadores o la cuadrilla de operarios que suben al monte y con hachas o actualmente con moto sierras eléctricas o de gasolina cortan el árbol y le quitan las ramas, raíces y empiezan a quitarle la corteza para que empiece a secarse. Se suele recomendar que los árboles se les corte en invierno u otoño. Es obligatorio

replantar más árboles que los que se cortaron.

Debe tenerse en cuenta que un árbol es un ser vivo, por lo que necesita tiempo para desarrollarse, esto implica que hay que talarlos en su madurez, pues si se talaran todos los árboles de un bosque a la vez, se necesitaría un tiempo demasiado largo para volver a explotar ese bosque. Para evitar esto, se utilizan varios métodos de talas sustentables, siendo las más representativas:

- Método de talas parciales. Consiste en dividir el bosque en parcelas que se talan rotatoriamente y, dependiendo del ciclo de crecimiento del árbol, se talará la superficie correspondiente².

- Método de los árboles sembraderos. Si los árboles existentes poseen unas semillas que desarrollan fácilmente nuevos árboles, se puede talar prácticamente la totalidad del bosque, dejando algunos árboles diseminados que actuarán de reproductores².

- Método de la tala selectiva. Los árboles se talan y transportan según su tamaño y calidad de todas las zonas del bosque. El costo de este método es alto, pero permite que el bosque conserve en buen estado.

Además de esto, debe realizarse una conservación de la masa arbórea, como cortar árboles de gran tamaño, que han alcanzado un crecimiento cercano al límite y, otros más pequeños que, previsiblemente, crecerán menos que otros, consiguiendo así que la competencia por el agua y la luz disminuya, dando lugar a un mejor crecimiento; conviene podar algunas ramas para que toda la energía que produce el árbol se destine a generar madera en el tronco o ramas gruesas.

b) **Transporte.** En esta fase y es en la que la madera es transportada desde su lugar de corte al aserradero para lo cual se debe de considerar la orografía y la infraestructura que haya. Normalmente se hace tirando con animales o maquinaria, pero hay casos en que hay un río cerca y se aprovecha el transporte fluvial para que los lleve, si hay buena corriente de agua se sueltan los troncos con cuidado de que no se atasquen, pero si hay poca corriente se atan haciendo balsas que se guían

hasta donde haga falta²¹.

c) **Aserrado.** En esta fase la madera es llevada a unos aserraderos. En los cuales se sigue más o menos ese proceso y el aserradero lo único que hace es trocear la madera según el uso que se le vaya a dar después. Suelen usar diferentes tipos de sierra como, por ejemplo, la sierra alternativa, de cinta, circular o con rodillos. Algunos aserraderos combinan varias de estas técnicas para mejorar la producción².

d) **Secado.** Este es tal vez el proceso más importante para que la madera sea de calidad y este en buen estado, aunque si fallan los anteriores pasos también fallara este.

La celulosa, es un polisacárido, formando exclusivamente por monómeros de glucosa, es rígida e insoluble en agua y en la mayoría de los disolventes. Es una molécula de gran abundancia que se encuentra, por ejemplo, en la madera.

Existen dos procesos principales de producción de celulosa: los procesos mecánicos y los procesos químicos.

• **Procesos mecánicos.** Ya que la principal fuente de celulosa es la madera, se describe como proceso mecánico a aquel proceso industrial que se realiza con ella, logrando la extracción, mediante medios mecánicos (herramientas, aparatos, fuerza humana), de una masa fibrosa contenida en la misma, que posteriormente es mezclada con agua y almacenada. Esta nueva masa es conocida como "masa mecánica" que es la materia prima a la hora de fabricar papel y cartón.

• **Procesos químicos.** Este se inicia después de reducir la madera en pequeñas partes o astillas, luego mediante la acción química de ciertos compuestos se termina de reducir la madera, extrayendo la lignina y la hemicelulosa y después se obtiene una masa la cual contiene un alto contenido de celulosa.

Existen también varios procesos de obtención de celulosa internacionalmente conocidos:

• **Proceso kraft.** Las astillas de madera se tratan con solución de sulfuro sódico e hidróxido

sódico en relación 1:3 durante 2-6 horas a temperaturas de 160 - 170 C. Después, en ebullición, se añade sulfato sódico que reacciona pasando a sulfuro sódico y se elimina.

•**Método de la sosa.** Para la digestión de las astillas de madera se emplea como reactivo el hidróxido sódico en solución alrededor del 4%.

•**Método del sulfito.** En este método las astillas de madera se digieren con solución de bisulfito cálcico con dióxido de azufre libre, y las ligninas se transforman en lignosulfonatos solubles.

El tratamiento previo de la madera es el siguiente: los troncos descortezados se astillan para colocarse en un digestor donde se dosificarán los reactivos previamente seleccionados. La madera así digerida se envía a cribas de clasificación y de lavado donde se selecciona para posteriormente ser blanqueada, secada y embalada para su traslado a las plantas de elaboración depapel y/o cartón. Los sobrantes van a silos que después se usarán para generar energía en la planta.

El compuesto **lignina** se constituye entre 15 y 30% de la madera. Es un complejo químico formado por la deshidratación de azúcares que origina estructuras aromáticas. Se sitúa entre las fibras de celulosa de algunas células. Se encarga de dar la dureza y la consistencia a la madera.

La madera además contiene otras sustancias de las que se obtienen resinas, aceites, etc. El proceso de remanufactura consiste en una primera etapa de preparación de materia prima, esto es, la optimización de anchos, el cepillado y la clasificación en distintos grados de calidad.

En una segunda fase, la madera se troza en líneas manuales y automáticas, con el fin de eliminar los defectos, para, a continuación, separar los cutstocks (piezas libres de nudos de largo fijo) de los blocks (piezas de madera libre de nudos de largos variables). Estos últimos son

conducidos a las máquinas que hacen la unión de tipo finger, que dan origen a tablas libres de nudos de 6 m. de largo.

La tercera etapa consiste en el procesamiento de estos cutstocks y blanks en distintas líneas orientadas a los productos finales. Estas son las moldureras, para el caso de las molduras, las líneas de encolado de canto o línea de encolado de cara, para los productos laminados. Las principales máquinas para estos últimos productos son procesadoras de líneas de colas, prensas tanto frías como de radio frecuencia, escuadradoras y lijadoras.

La cuarta y última etapa consiste en control de calidad, etiquetado, empaquetado, y despacho, tanto a puerto para los productos de exportación, como directamente a las instalaciones de los clientes en el mercado nacional.

4.2.9 Propiedades mecánicas de la madera

Las propiedades mecánicas abarcan las posibilidades estructurales de la madera, para ello se debe tomar en cuenta su resistencia, dureza, rigidez y densidad. La madera consta de las siguientes propiedades mecánicas:

- Muy elevada resistencia a la flexión,
- Buena capacidad de resistencia a la tracción y a la compresión paralelas a la fibra.
- Escasa resistencia al cortante.
- Muy escasa resistencias a la compresión y a la tracción perpendicular a la fibra.
- Bajo módulo de elasticidad, mitad que el del hormigón y veinte veces menor que el acero.

La resistencia depende de lo seca que esté la madera y de la dirección en que esté cortada con respecto a la veta. La madera siempre es mucho más fuerte cuando se corta en la dirección de la veta; por eso las tablas y otros objetos como postes y mangos se cortan así. La alta resistencia a la compresión es necesaria para cimientos y soportes en construcción. La resistencia a la flexión es fundamental en la utilización de madera en estructuras, como viguetas travesaños y vigas de todo tipo. El roble, por ejemplo, es muy resistente a la flexión, pero más débil a la compresión.

Seis son las propiedades que identifican y diferencian a la madera con respecto al resto de las materias:

- **Anisotropía.** Comportamiento diferente en las tres direcciones del espacio (longitud, anchura, espesor), respecto a las presiones y fuerzas a que se vea sometida.

- **Densidad.** Varía según se trate de madera densa (pesada) o ligera; como valor patrón para la madera se considera 1 Kg/cm^3 . Algunos ejemplos serían el Pino ($0.32\text{-}0.76\text{kg/cm}^3$), Abeto ($0.32\text{-}0.62\text{kg/cm}^3$), Roble ($0.71\text{-}1.07\text{kg/cm}^3$), Balsa (0.15kg/cm^3), Chopo (0.35kg/cm^3), etc.

- **Elasticidad.** La madera se deforma bajo presiones o compresiones, volviendo a su primitivo estado cuando estas dejan de actuar. Esta propiedad también está presente inclusive cuando la madera está seca.

- **Higroscopicidad.** Debido a su gran porosidad la madera absorbe o cede agua del y al ambiente que lo circunda, según éste sea húmedo o seco y consecuentemente en relación con la época del año. La madera no obstante posee una cierta cantidad de agua estimada en un 20% - 30% de su peso, muy difícil que la pierda totalmente.

- **Movimientos de tracción-turgencia.** Por su anisotropía la madera se hincha y/o se contrae produciéndose variaciones dimensionales. Los efectos producidos por esta propiedad pueden evaluarse por ejemplo en torno a un 0'2 % en el sentido transversal, por cada 1% de variación ambiental de la humedad relativa. Esta variación es mucho más importante en el sentido tangencial.

•**Plasticidad.** Capacidad de deformación al ser sometida a cargas pesadas durante cierto tiempo.

4.2.10 La madera en Colombia

Colombia es por naturaleza un territorio donde predominan los ecosistemas forestales. De los 114 millones de hectáreas que comprenden la superficie del país se estima que 55 millones, el 50% del territorio nacional, mantienen cobertura forestal. De esta área, el 50% está concentrado en tierras colectivas de comunidades indígenas y afro descendientes principalmente del Chocó- Darién y la cuenca del Amazonas. La extracción y comercialización ilegal de madera genera un impacto ambiental y socio-económico en el país, afectando no sólo el buen desempeño del sector y aporte al PIB nacional, sino también la seguridad y control de estas comunidades sobre su territorio. (Recuperado de: <https://www.wwf.org.co/en/?213040/Maderas-de-Colombia>)

Dentro de las diferentes especies de maderas que se pueden encontrar en el territorio nacional, se destacan 40 especies que fueron caracterizadas física y mecánicamente por un estudio realizado por WWF y su iniciativa de comercio forestal responsable GFTN (Global Forest & Trade Network por su sigla en inglés) en el marco del proyecto Amazonia Viva, financiado por Unión Europea y WWF Alemania.

Las especies más comercializadas, son habitualmente las de mejor calidad por sus características de trabajabilidad y durabilidad principalmente. Esta presión incide en muchos casos hasta ocasionar el agotamiento y escasez de las especies, por ejemplo la caoba (*Swietenia macrophylla*), la cual por alta demanda era comercializada en las zonas de Amazonia y Chocó, hoy es muy escasa, y ha sido reemplazada por otras especies de menor calidad. Asimismo estas son las especies que se comercializan en mayores proporciones: cedro (*Cedrela odorata*) 17%, roble

(*Tabebuia rosea*) 14%, cativo (*Prioria copaifera*) 10%, espavé (*Anacardium excelsum*) 9%, canaleta (*Jacaranda copaia*) 9%; sande (*Brosimum utile*) 9%.

La Tabla 1 presenta las características de las 40 especies de maderas estudiadas en el informe presentado por WWF y su iniciativa de comercio forestal responsable GFTN. La tabla describe el nombre científico de la madera, el olor característico, el lustre o brillo que tiene la madera, grano o direccionamiento de la fibra y la textura de las maderas caracterizadas. Se aprecia una gran diversidad de tipos de maderas, entre algunas que brillan mucho o poco, con grano recto, entrecruzado, ondulado o irregular, y textura gruesa, media o fina.

Tabla 1 Características de la madera según su especie.

Nombre común	Nombre científico	Característica			
		Olor	Lustre	Grano	Textura
Abarco del Amazonas	<i>Cariniana decandra</i>	No distintivo	Medio	Recto	Media
Aceite María	<i>Calophyllum mariae</i>	No distintivo	Medio a alto	Entrecruzado	Gruesa
Aceituno	<i>Simarouba Amara</i>	No distintivo	Alto	Recto	Gruesa
Achapo	<i>Cedrelinga catanaeformis</i>	No distintivo	Medio	Recto a entrecruzado	Gruesa
Algarrobo	<i>Hymenaea courbaril</i>	No distintivo	Medio	Recto a entrecruzado	Media
Algarrobo-robale	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	No distintivo	Medio	Straight	Media
Almendro	<i>Goupia glabra</i>	Similar a madera húmeda	Ausente a mediano	Recto a entrecruzado	Mediana
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i>	No distintivo	Medio a alto	Entrecruzado a ondulado	Media
Arenillo	<i>Erisma uncinatum</i>	No distintivo	Medio a alto	Recto	Gruesa

Bálsamo	Myroxylon balsamum	Distintivo y agradable	Medio a alto	Entrecruzado	Media a fina
Bilibil	Brosimum alicastrum	Distintivo	Medio a alto	Recto a ligeramente entrecruzado	Fina a media

Nombre común	Nombre científico	Características			
		Olor	Lustre	Grano	Textura
Caimito	Chrysophyllum caimito	No distintivo	Medio	Recto a entrecruzado	Fina
Camajón	Sterculia apetala	No distintivo	Medio	Recto a irregular	Media a gruesa
Canalete	Jacaranda copaia	No distintivo	Medio a alto	Recto a ligeramente entrecruzado	Media a moderadamente gruesa
Capirón	Calycophyllum spruceanum	Característico a vainilla	Medio a alto	Recto a entrecruzado	Fina
Capitancillo	Pentaclethra macroloba	No distintivo	Medio a alto	Recto a entrecruzado	Gruesa
Carrá	Huberodendron patinoi	No distintivo	Bajo a medio	Recto a irregular	Gruesa
Castaño blanco	Scleronema micranthum	No distintivo	Medio	Recto	Gruesa
Castaño rojo	Scleronema praecox	No distintivo	Medio	Recto	Gruesa
Ceibo	Pachira quinata	No distintivo	Medio	Recto a ligeramente entrecruzado	Gruesa
Chanul	Humiriastrum procerum	Ligeramente avinagrado (fresca)	Medio a bajo	Recto a entrecruzado	Fina a media
Chonta	Iriarteia deltoidea	No distintivo	Alto	Recto	Gruesa
Creolino	Monopterix uaucu	Intenso y penetrante	Alto	Entrecruzado	Fina
Cuangare	Otoba gracilipes	No distintivo	Mediano	Recto	Gruesa
Cumala	Virola sebifera	No distintivo	Medio a alto	Recto	Gruesa a media
Gomo	Vochysia vismiifolia	No distintivo	Medio	Recto	Gruesa
Granadillo	Platymiscium pinnatum	No distintivo	Alto a mediano	Recto a oblicuo	Media
Guayacán	Buchenavia capitata	No distintivo	Medio	Recto a ondulado	Fina a media

Hobo	Spondias mombin	No distintivo	Medio	Recto	Media
Lechero amarillo	Brosimum potabile	No distintivo	Medio	Recto a entrecruzado	Media
Ojé	Ficus insipida	No distintivo	Bajo	Recto a irregular	Gruesa
Palo sangre	Brosimum rubescens	No distintivo	Alto	Recto a entrecruzado	Fina
Peinemono	Apeiba aspera	No distintivo	Alto	Recto	Gruesa

Nombre común	Nombre científico	Características			
		Olor	Lustre	Grano	Textura
Perillo	Couma macrocarpa	No distintivo	Medio	Oblicuo a entrecruzado	Media
Quinilla	Manilkara bidentata	No distintivo	Medio	Oblicuo a entrecruzado	Fina
Sajo	Camposperma panamensis	No distintivo	Medio a alto	Recto	Media
Sande	Brosimum utile	A leche cuando está fresca, ausente cuando está seca	Medio	Recto a ligeramente entrecruzado	Gruesa
Soroga	Vochysia ferruginea	No distintivo	Medio a alto	Recto a regular	Gruesa
Tometo	Symphonia globulifera	Fétido cuando esta recién cortado y ausente cuando está seca.	Medio	Recto a regular	Gruesa
Yanchama roja	Poulsenia armata	No distintivo	Medio a alto	Recto a entrecruzado	Media

Fuente: Adaptado de WWF – GFTN (*Global Forest & Trade Network*).

La Tabla 2 muestra las propiedades físicas de las 40 especies de maderas estudiadas. Se observa que la densidad de la madera es baja o liviana, llegando a tener, la mayor cantidad de maderas, densidades por debajo de la densidad del agua, lo que indica que dichas maderas flotan en el agua. El rango de densidad oscila alrededor de 0.5g/m^3 . Cuando se realiza un proceso de extracción de la madera, uno de los procesos es el secado de la misma (tal y como se explicó en el ítem 4.2.8 del presente documento). El secado de la madera produce una contracción de las fibras,

tanto tangenciales como radiales. Se evidencia que la contracción tangencial se presente entre el 2% y el 11%, mientras que la contracción radial se presenta entre el 1% y el 6%. Es decir, que la relación entre la contracción tangencial y radial (Relación T/R) puede oscilar entre 1 y 2, lo que significa que la contracción tangencial es siempre mayor que la contracción radial. Por último, la contracción volumétrica de las maderas estudiadas, tienen valores que pueden estar entre el 4% y el 17%.

Tabla 2 Propiedades físicas de la madera según su especie.

Nombre común	Propiedades físicas				
	Densidad [g/cm ³]	Contracción tangencial [%]	Contracción radial [%]	Contracción volumétrica [%]	Relación T/R
Abarco del Amazonas	0.59	7.6	5	12.1	1.5
Aceite María	0.46	10.9	6.6	16.8	1.65
Aceituno	0.36	6.7	2.9	9.6	2.31
Achapo	0.37	8.3	4.1	12.4	2.02
Algarrobo	0.77	7.4	4.2	11.2	1.76
Algarrobo-roble	0.78	8.2	3.9	12.3	2.15
Almendro	0.69	8.5	5.4	13.5	1.57
Andiroba	0.49	8.6	4.7	12.9	1.82
Arenillo	0.47	6	4.4	10.7	1.6
Bálsamo	0.78	6.5	4.2	9.9	1.56
Bilibil	0.68	8.2	5	12.4	1.6
Caimito	0.74	11.1	7.9	17	1.4
Camajón	0.43	11.2	5.3	11.9	2.11
Canalete	0.35	7.1	4.8	11.9	1.47
Capirón	0.74	9.2	5	14.2	1.84
Capitancillo	0.43	9.8	3.9	13.7	2.51
Carrá	0.51	4.9	3.6	8.5	1.37
Castaño blanco	0.6	8.3	5.1	13.8	1.7
Castaño rojo	0.61	8	5.1	13.7	1.64
Ceibo	0.39	5.1	3	8	1.7
Chanul	0.69	11.1	7.4	18.5	1.5
Chonta	1.03	4.7	4.6	9.7	1.01
Creolino	0.78	7.9	2.9	11.3	2.8
Cuangare	0.33	4.8	2.6	7.5	1.86
Cumala	0.37	11.5	4.5	15.5	2.7
Gomo	0.34	7	5	12.1	1.41

Granadillo	0.78	2.3	1.5	3.8	1.59
Guayacán	0.65	6.9	4	11	1.73
Hobo	0.31	5.1	3.1	8.1	1.63
Lechero amarillo	0.63	10.1	4.8	15.3	2.1
Ojé	0.32	3.4	1.7	5.1	2.01
Palo sangre	1.1	7.3	4.6	11	1.6
Peinemono	0.3	6.3	2.3	8.6	2.73
Perillo	0.51	3.9	2.7	6.6	1.41
Quinilla	0.87	10.1	6.6	16.1	1.53
Sajo	0.37	8.8	5.6	13.9	1.57
Sande	0.42	7.3	4.1	11.4	1.78

Nombre común	Propiedades físicas				Relación T/R
	Densidad [g/cm ³]	Contracción tangencial [%]	Contracción radial [%]	Contracción volumétrica [%]	
Soroga	0.37	10.3	4	14.3	2.57
Tometo	0.58	11.3	5.3	16.6	2.13
Yanchama roja	0.37	7.3	4	11.3	1.82

Fuente: Adaptado de WWF – GFTN (*Global Forest & Trade Network*).

En la Tabla 3 se describen las propiedades mecánicas de la madera según su especie. La madera, en comparación con otros materiales de construcción tradicionales, como el concreto y el acero, puede llegar a tener resistencias similares o incluso superiores. Un ejemplo de ello, es que la resistencia a la compresión de un concreto normal está entre 21 y 28 MPa (210 y 280 kg/cm²), mientras que la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la madera está entre 18.5 y 124.0 MPa (185 y 1240 kg/cm²) aunque la resistencia a la compresión perpendicular a la fibra de la madera ronda entre 1.8 y 85.5 MPa (18 y 855 kg/cm²). Por otro lado, el acero puede alcanzar un límite de fluencia entre 240 y 420 MPa.

Tabla 3 Propiedades mecánicas de la madera según su especie.

Nombre común	Propiedades mecánicas					
	Módulo de elasticidad en flexión [MPa]	Módulo de rotura en flexión [kg/cm ²]	Compresión paralela [kg/cm ²]	Compresión perpendicular [kg/cm ²]	Corte paralelo a la fibra [kg/cm ²]	Dureza en los lados [kg]
Abarco del Amazonas	13100	735	342	66	84	468
Aceite María	16400	1179	658	84	91	646
Aceituno	8500	534	312	41	67	206
Achapo	9000	698	333	41	81	267
Algarrobo	16300	1515	886	117	186	1351
Algarrobo-roble	17300	1208	489	113	134	844
Almendro	15100	1.296	664	562	98	800
Andiroba	12700	1045	511	75	84	437
Arenillo	8300	588	222	43	61	283
Bálsamo	17500	1340	714	130	163	1143
Bilibil	11700	785	365	75	109	720
Caimito	19600	1535	910	99	110	1083
Camajón	12400	1010	530	51	196	633

Nombre común	Propiedades mecánicas					
	Módulo de elasticidad en flexión [MPa]	Módulo de rotura en flexión [kg/cm ²]	Compresión paralela [kg/cm ²]	Compresión perpendicular [kg/cm ²]	Corte paralelo a la fibra [kg/cm ²]	Dureza en los lados [kg]
Canalete	10600	707	273	29	52	339
Capirón	16200	1312	660	183	141	1374
Capitancillo	13500	995	487	87	79	607
Carrá	16400	1311	719	58	77	426
Castaño blanco	20800	810	276	54	154	594
Castaño rojo	18200	738	293	47	140	591
Ceibo	9800	751	392	40	48	186
Chanul	18300	1471	764	100	93	1050
Chonta	22200	1598	--	855	131	1336
Creolino	23800	1535	639	154	185	1026
Cuangare	11100	674	395	45	52	218
Cumala	10000	624	354	27	56	216
Gomo	8400	444	185	18	496	148
Granadillo	20900	23	1240	220	132	1570
Guayacán	12600	893	395	71	97	627

Hobo	7400	500	297	37	61	271
Lechero amarillo	13100	694	341	48	78	453
Ojé	2500	421	359	49	51	280
Palo sangre	21200	1907	838	559	117	994
Peinemono	7300	504	308	40	45	172
Perillo	13200	1100	680	87	9.3	457
Quinilla	24300	1918	818	163	176	1446
Sajo	12700	975	503	69	67	274
Sande	11300	928	520	82	78	460
Soroga	11700	929	590	81	72	513
Tometo	17200	1492	719	102	79	823
Yanchama roja	8500	587	394	50	69	418

Fuente: Adaptado de WWF – GFTN (*Global Forest & Trade Network*).

La madera llega a ser un material mucho más flexible que el acero o el concreto. Siendo el módulo de elasticidad un indicador de la rigidez del elemento, un material será más elástico cuando el módulo de elasticidad sea más bajo. En el caso del acero, el módulo de elasticidad alcanza los 200 GPa. Por otra parte, el concreto puede llegar a tener módulos de elasticidad entre 20 y 25 GPa. Mientras que la madera tiene módulos de elasticidad muy dispersa: algunas especies de maderas pueden llegar a tener un 10% de la rigidez del concreto como el caso del Ojé que tiene un módulo de elasticidad de 2.5 GPa; otras especies de maderas llegan a tener rigideces similares a la del concreto como el caso del Palo sangre, Quinilla, Granadillo, Creolino, Chonta, Castaño blanco y el Caimito que tienen módulos de elasticidad entre 19.6 y 24.3 GPa.

Evolución de la vivienda construida en madera

Rampazzo, Sponchiado (2000) señala que las cabañas primitivas se construyeron sin el uso de herramientas o maquinaria; se realizaba únicamente con ramas leñosas fijadas al suelo a través de piedras y con una cubierta de pieles de animales, para refugiarse del exterior, el frío, la lluvia, los depredadores de vida silvestre y, posiblemente, los malos espíritus. Así mismo, American Wood Council (2001) considera que la construcción de madera se adapta fácilmente a los estilos de

construcción tradicionales, contemporáneos y más futuristas. Sus posibilidades arquitectónicas son ilimitadas].

A lo largo de la historia, se han desarrollado dos métodos de construcción modernos: casas de madera maciza hechas con troncos o tablones apilados, que se encontraban principalmente en áreas forestales, o compuestas por paneles sólidos hechos de listones de madera pegados o clavados; casas con entramado de madera, hechas con elementos de entramado rellenos de materiales aislantes y selladores (originalmente ladrillos, barro y piedras), que son populares en las zonas urbanas. Con el tiempo, la mampostería ha sido reemplazada por muros "sándwich" (Benoit y Paradis 2008).

Hoy en día, la construcción de unidades residenciales prefabricadas de madera se sustenta en sólidos argumentos; Muchas innovaciones y mejoras introducidas a principios de la década de 1980 ayudaron a promover las residencias de madera prefabricadas en todo el mundo. La arquitectura de la madera se multiplicó en muchas tipologías a lo largo del tiempo, por ejemplo, casa de troncos, casa con entramado de madera (fachwerk), casa de tablas y listones, casa de tablas horizontales (hechas con tablones machihembrados), estructura de madera (postes y vigas). estructura de madera (globo y plataforma) y modular.

El entramado de madera se utiliza en casas rurales vernáculas, donde las piezas de madera verticales y horizontales se limitan a la parte superior de la fachada (Tosolini 2008). La mampostería se utiliza para rellenar los espacios en la estructura de la pared. Esta larga estructura de madera presenta grandes secciones utilizadas en casas de dos o tres plantas.

Las construcciones de troncos o tablones grandes se desarrollan especialmente en áreas densamente boscosas en el norte de Europa. En resumen, la casa de troncos es la casa basada en el apilamiento de troncos, para formar paredes sólidas. Las casas de tableros y listones están formadas por marcos superiores e inferiores, interconectados a través de pilares al techo y estructuras adicionales como sellado horizontal (pisos y techo) y paredes de sellado vertical.

El poste y la viga es una estructura de madera autoportante que se fija mediante conexiones entre las partes con el marco estructural colocado en su base. El hogar horizontal- blockboard está fabricado con estos materiales unidos entre sí con machihembrado, estabilizados lateralmente por montantes, y este sistema ha sido ampliamente utilizado para clases altas, como segunda vivienda en cabañas, chalés, etc.

En el marco de madera de la plataforma, las vigas del primer piso están completamente cubiertas para formar una plataforma sobre la cual se erigen las paredes exteriores / interiores. En la carcasa de armazón de globo, los montantes de la pared exterior continúan a través del primer y segundo piso.

La vivienda modular se deriva de los remolques, específicamente los de vivienda permanente, refiriéndose a las unidades fabricadas en la industria.

El potencial arquitectónico de la madera es enorme, lo que permite la construcción de edificios con prestaciones atractivas.

Las viviendas de madera construidas en fábrica, que incluyen casas modulares,

manufacturadas y con paneles, permiten cada vez más a los constructores proporcionar a los consumidores viviendas que son menos costosas que las construidas en el lugar, sin sacrificar la calidad o el atractivo estético de la vivienda.

El primer enfoque para lograr una estructura fuerte y duradera, que implique el uso económico de materiales, es seguir un plan modular para el diseño y la fijación de las partes del marco. El uso de materiales de segunda categoría y la remoción o acortamiento de las etapas de construcción puede resultar en ahorros económicos en poco tiempo, pero también podría debilitar la estructura. Por lo tanto, esto debe tenerse en cuenta para lograr un edificio eficiente.

4.3 Metodologías para el uso apropiado de la madera en la construcción

Para evaluar el perfil ambiental de los edificios, se han desarrollado y aplicado varios métodos analíticos (König et al. 2010). La evaluación del ciclo de vida (LCA), que es un método para cuantificar el impacto ambiental de un producto durante su ciclo de vida, es uno de los métodos de evaluación más utilizados (ISO 14040 2006, ISO 14044 2006). El ACV se ha aplicado a los edificios desde 1990 (Fava 2006), y se han realizado a nivel internacional numerosos estudios relacionados con los impactos del ciclo de vida de los edificios. El ACV es un método intensivo en datos y los resultados varían caso por caso con diferentes metodologías que se aplican según el propósito de la evaluación (Peeredoom 1999, Erlandsson y Borg 2003). Así, se han desarrollado estándares normativos que tienen como objetivo armonizar las metodologías de evaluación.

Las normas normativas EN15804 (2012 + A1: 2013) y EN15978 (2011), desarrolladas por el Comité Técnico TC 350 del Comité Europeo de Normalización (CEN / TC 350), proporcionan

un marco para la evaluación de productos de construcción y Edificios en madera. Los estándares establecen las disposiciones metodológicas relacionadas con los módulos del ciclo de vida (módulo A1-3: etapa del producto, A4-5: etapa del proceso de construcción, B: etapa de uso y C: etapa del final de la vida útil) y un módulo de información adicional (módulo D: Beneficios y cargas más allá de los límites del sistema). En particular, el módulo D, que muestra los beneficios y cargas adicionales resultantes de las operaciones de reutilización / reciclaje al final de la vida útil de un edificio, es único en la definición de una solución para la descripción transparente de los aspectos de reciclaje en el LCA del edificio (Leroy et al. 2012).

El proyecto de investigación europeo “EeBGuide” (Wittstock et al. 2012) resumió las disposiciones de CEN / TC 350 y el manual del sistema de datos de ciclo de vida de referencia internacional (ILCD) (EC-JRC-IES 2010) con el fin de producir una guía experta sobre con - realización de estudios de ACV para edificios y productos de construcción energéticamente eficientes. El documento EeBGuide identificó más de 150 temas a considerar al realizar un producto o construir un ACV de acuerdo con el marco del ACV (por ejemplo, definición de objetivo y alcance, análisis de inventario) y las etapas del ciclo de vida de las normas EN 15804 y EN 15978 (módulos A– D). Las disposiciones y la orientación se desglosan según los tipos de estudio (selección, ACV simplificado y completo) y hacen una distinción entre ACV independientes y afirmaciones comparativas. Moncaster y Symons (2013) introdujeron una herramienta sencilla para evaluar el carbono incorporado y la energía en los edificios del Reino Unido (la herramienta ECEB). Esta herramienta fue desarrollada para ayudar a tomar decisiones de diseño en la etapa de viabilidad que, en la medida de lo posible, estén en línea con EN 15804 y EN 15978. Concluyeron que las normas proporcionan un análisis preciso para las primeras fases del ciclo de vida (módulo A1-5) pero solo una aproximación para las últimas fases (módulos B3–

5 y C). Además, los autores mencionaron que la falta de datos precisos de ACV, especialmente para la etapa de producto (módulo A1-3), el proceso de construcción (módulo A5) y la etapa de final de vida útil (módulo C), dificulta la realización de una evaluación precisa. En la medida de lo posible, se ajustan a las normas.

Para la evaluación del edificio, EN 15978 se refiere al uso de datos obtenidos de las Declaraciones Ambientales de Producto (EPD) definidas en EN-15804. Además, EN-16485 (2014) desarrollada por CEN / TC175, proporciona reglas de evaluación detalladas para madera y madera. Productos basados en materiales utilizados en la construcción, de acuerdo con la norma EN 15804. El ACV de los materiales de base biológica, principalmente productos de madera, se ha discutido recientemente en vista de sus propiedades inherentes únicas (almacenamiento de carbono), discutidas anteriormente. Pawelzik y col. (2013) declaró que los estándares de LCA aún no abordan los detalles del ciclo de vida de los materiales de base biológica y revisaron los problemas y metodologías clave con respecto a su LCA.

4.3.1 Aspectos importantes de seleccionar materiales

Estudios consultados y que se describen a continuación, permiten apreciar la importancia de la correcta selección de los materiales de construcción. La selección de materiales afecta directamente el impacto ambiental de un edificio, ya que es un sistema complejo que consta de muchos materiales diferentes. Varios investigadores han investigado la relación entre la selección de materiales de construcción y los impactos resultantes. Basbagill et al. (2013), por ejemplo, investigaron la influencia de la elección del material y el grosor en el impacto incorporado de un edificio en cuatro elementos del edificio (subestructura, carcasa, interiores y servicios). Señalaron que se podría lograr una reducción significativa en el impacto incorporado mediante cambios en los materiales de revestimiento, pilotes y materiales de vidrio y pisos. Mientras que los cambios

de materiales y espesores no fueron importantes en el caso de las puertas, escaleras y equipos de servicio del edificio. Thormark (2006) investigó el efecto de la elección del material tanto en la energía incorporada como en el potencial de reciclaje en un bloque de apartamentos energéticamente eficiente en Suecia, y señaló que la energía incorporada podría reducirse en aproximadamente un 17% (o aumentarse en aproximadamente un 6%) mediante la implementación de un modelo simple. cambio material.

La selección de materiales también puede tener un efecto apreciable en el proceso de construcción. Ramesh et al, (2010). por ejemplo, estudiaron el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociados con la construcción in situ de edificios. Demostraron que había diferencias significativas cuando se usaban materiales de marco alternativos (madera, acero y hormigón). Se descubrió que la estructura de acero consume la energía más baja y emite los gases de efecto invernadero más bajos durante la construcción y la estructura de hormigón la más alta (la estructura de hormigón requiere hasta 40 veces más energía que la construcción de acero). El uso de madera típicamente resultó en 2-3 veces más consumo de energía de construcción y emisiones de GEI que el acero.

También se ha investigado el efecto de la elección del material de construcción sobre la energía operativa. Dadoo et al. (2012) analizaron el efecto de la masa térmica sobre la demanda de energía de calefacción de espacios y los balances de energía primaria del ciclo de vida de un edificio. Calcularon los beneficios de ahorro de energía de la masa térmica durante la fase de operación de un edificio de referencia ubicado en Växjö, en el sur de Suecia, con estructura de hormigón o madera. Descubrieron que el edificio con estructura de hormigón tenía una demanda de energía de calefacción de espacios ligeramente menor (0,5-2,4%) que la alternativa con

estructura de madera debido a la mayor masa térmica de los materiales a base de hormigón.

Jokisalo y Kurnitski (2005) y Ståhl (2009) llevaron a cabo simulaciones utilizando un enfoque similar y encontraron que los beneficios de ahorro de energía de la calefacción de espacios de lamasa térmica son aproximadamente del 0,7% al 2,0% para los edificios en el clima nórdico. Zhuet al. (2009) compararon construcciones idénticas de madera y hormigón en Las Vegas y encontraron que la construcción de madera requería mayor energía de calefacción del espacio, pero menor energía de enfriamiento del espacio que la construcción de hormigón. El efecto de la masa térmica en los edificios se ve influido por varios parámetros como la ubicación climática, la orientación, el área de las ventanas, el aislamiento térmico, la ventilación y el patrón de ocupación de los edificios.

Aunque hasta la fecha se ha realizado poca investigación sobre la etapa de final de vida útil (EoL) de los edificios (Karimpour et al.2014), el aspecto del reciclaje se ha destacado como un factor potencialmente significativo en la reducción del uso de energía del ciclo de vida de la construcción. - ings (Thormark 2006, Dadoo et al, 2012). Por ejemplo, Thormark (2006) encontró que el reciclaje en edificios de baja energía en Suecia resultó en una recuperación del 40% de la energía incorporada. Además, Höglmeier et al. (2013) analizaron el potencial en cascada de la madera utilizada en el parque de construcción del sudeste de Alemania y encontraron que más de la mitad de la madera recuperada podría utilizarse para aplicaciones secundarias de alta calidad. Estos estudios indican la importancia de considerar los escenarios definal de vida de los materiales de construcción desde el inicio del proyecto de construcción.

4.3.2 Aspectos ambientales relacionados con la construcción en madera

La madera es uno de los materiales de construcción más tradicionales y más utilizados, gracias a sus diversas características, es adecuado para una variedad de aplicaciones. Debido a sus propiedades ambientales únicas, en el contexto de promover la sostenibilidad en la edificación.

En el sector de la construcción, la madera y los productos de construcción a base de madera han atraído últimamente una atención considerable como materiales de construcción prometedores. En primer lugar, la renovabilidad es una característica notable de la madera, que la distingue de otros materiales de construcción como el acero, el hormigón y los productos a base de petróleo fósil. Además, durante el crecimiento, los árboles secuestran carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis y parte de este carbono absorbido se almacena en productos de madera. El carbono en los productos de madera permanece almacenado mientras el producto está en uso. En resumen, los productos de madera proporcionan un mecanismo de almacenamiento físico para el carbono, que proporciona beneficios climáticos según los aspectos temporales (Sathre y O'Connor 2010). Cuando un producto de madera se quema al final de su vida útil, se libera el carbono almacenado, pero también se puede recuperar energía.

Las ventajas ambientales del uso de productos de madera varían según la interacción entre el crecimiento forestal, el almacenamiento de carbono en el bosque y en los productos de madera y la sustitución de combustibles fósiles y otros materiales. Liu y Han (2009) estudiaron el almacenamiento de carbono en árboles vivos y productos de madera durante un período de tiempo de 400 años en tres escenarios de manejo forestal diferentes: no cosecha, cosecha a la edad de incremento medio anual máximo (MAI) y cosecha a un tiempo después del MAI máximo, pero antes de que ocurra una perturbación natural. Descubrieron que, a nivel de paisaje, el

almacenamiento de carbono en árboles vivos es el más alto en el escenario donde no se realiza la cosecha. Sin embargo, el almacenamiento total de carbono (tanto en árboles vivos como en productos de madera) es mayor en los otros escenarios de cosecha. En el escenario sin cosecha, Es posible que el almacenamiento de carbono en los árboles vivos se pierda debido a perturbaciones naturales, lo que da como resultado fluctuaciones en el almacenamiento total de carbono. Los autores concluyeron que una combinación de una gestión forestal mejorada y una transferencia eficiente de carbono a los productos de madera sería una propuesta razonable para garantizar un almacenamiento de carbono estable y a largo plazo. A la misma conclusión llegaron Pérez et al. (2005).

Cuando se supone que la madera post-uso y los residuos de procesos de madera se utilizan con fines energéticos, el beneficio del almacenamiento de carbono se vuelve menos significativo con el tiempo. Werner y et al. (2005) analizaron cómo cambiaron los impactos de GEI a medida que aumentaba el uso de productos de madera. Observaron que, al principio, la reserva de carbono en los productos aumenta a medida que aumenta el uso de madera, pero que más tarde esto se estabilizará a medida que la cantidad de madera que ingresa al sistema equilibra la cantidad de madera que sale del sistema. En tales situaciones, el efecto del uso de productos de madera para sustituir los combustibles fósiles tiene un papel importante que desempeñar en la reducción de las emisiones netas de GEI. En el caso de la reutilización o reciclaje de post-uso madera, Sathre y Gustavsson (2006) investigaron los balances de energía y carbono para tres cadenas de cascada de madera recuperada; los efectos directos debido a las diferencias físicas o logísticas entre la madera virgen y la madera en cascada, los efectos de sustitución de la madera en cascada derivados de una reducción en el uso de materiales no madereros y los efectos del uso de la tierra debido a una reducción en el volumen de madera recolectada debido a de un aumento en la cascada de madera.

Sus resultados indicaron que el efecto más significativo tanto en el balance energético como de carbono fueron los efectos del uso de la tierra, seguidos de los efectos de sustitución, mientras que los efectos directos fueron relativamente menores. En particular, se señaló que el almacenamiento de carbono en la madera sin cosechar debido a la cascada de madera recuperada podría ser significativo. Börjesson y Gustavsson (2000) compararon los efectos de tres escenarios diferentes de manipulación de madera posterior al uso: i) quema para obtener energía, ii) 50% para reutilización y 50% para energía o iii) vertedero, sobre el ciclo de vida de la energía y el balance de GEI de un edificio de referencia. Descubrieron que el resultado más favorable surgía cuando la mitad de la madera post-uso se reutilizaba y la otra mitad se quemaba. Cuando la madera después del uso se coloca en cascada, la cosecha forestal y el uso de energía para la producción de material pueden reducirse en la construcción de edificios posteriores.

4.3.3 Importancia del uso de la madera en la construcción de vivienda

La madera es un material de construcción tradicional de viviendas unifamiliares y de vacaciones, especialmente en los países nórdicos. Sin embargo, el hormigón y el acero son materiales dominantes en los entornos urbanos, es decir en las grandes ciudades del mundo la mayoría de las viviendas son construidas en estos materiales. Aunque, estudio realizado por Gosselin, Blanchet, Lehoux y Cimon (2017) señaló que el número de estructuras de madera de varios pisos está aumentando en Europa y gran parte de Estados Unidos. Este aumento se debe principalmente a la necesidad de reducir los impactos ambientales del sector de la construcción. Por ejemplo, Hildebrandt et al. (2017) han argumentado que el mayor uso de productos de madera puede contribuir a un cambio hacia una producción de materiales de construcción más eficiente en cuanto a emisiones de carbono. En Finlandia, la cuota de mercado de las construcciones de madera de varios pisos se ha mantenido por debajo del 10% durante los últimos años (Hurmekoski,

Pykäläinen y Hetemäki, 2018), sin embargo, el gobierno finlandés promueve el uso de madera en aplicaciones urbanas de varios pisos, para ejemplo, a través del Programa de Construcción de Madera en curso (Ministerio de Medio Ambiente de Finlandia, 2019).

La investigación sobre la madera como material de vivienda se ha concentrado en el uso de la madera en interiores y muebles (Hakala, Autio y Toppinen, 2015; Scrinzi, Rossi, Deflorian y Zanella, 2011) además de ser una posible solución para la humedad y el aire. problemas de calidad en la vivienda (Burnard & Kutnar, 2015; Nyrud & Bringslimark, 2010). Las opiniones de los consumidores sobre el uso de materiales de madera en edificios residenciales urbanos con entramado de madera están ganando un interés académico creciente (Gold y Rubik, 2009; Høibø, Hansen y Nybakk, 2015; Hu, Dewancker, Zhang y Wongbumru, 2016; Larasatie et al, 2018; Luo, Kanzaki y Matsushita, 2017).

Estudio realizado por Nyrud & Bringslimark (2010) encontraron que las personas que viven en viviendas de madera aprecian un ambiente acogedor y agradable de las edificaciones de madera y la buena calidad del aire interior de sus apartamentos. Como material de interior, la madera se aprecia como material natural. En el noroeste del Pacífico de EE. UU., Se cree que los edificios altos de madera son más agradables estéticamente, crean un entorno de vida positivo y utilizan materiales renovables, en comparación con el hormigón y el acero (Larasatie et al., 2018). Del mismo modo, Gold y Rubik (2009) encontraron que los consumidores alemanes aprecian el bienestar, la estética y el respeto al medio ambiente de los edificios de madera.

Conforme a lo descrito en párrafos anteriores, se puede decir que la madera como material natural también conlleva significados positivos, la madera se describió como un material natural,

que parece conectarse con las percepciones sobre los beneficios para el bienestar de la madera y la salubridad y transpirabilidad de las construcciones de madera. La salubridad de la madera también estuvo relacionada con su sensibilidad a la humedad, especialmente durante la fase de construcción, que puede causar problemas de salud.

Conclusiones

Se analizaron los documentos hallados en las bases de datos especializadas: WOS, Scopus y Google académico, y se hizo un análisis bibliométrico de la cantidad de publicaciones que se realizaron por año en la ventana de observación 2000-2022. Los países que han realizado las respectivas publicaciones científicas relacionadas con el tema propuesto, se aprecian que Estados Unidos ocupa el primer lugar con un 32% del total de las publicaciones a nivel mundial; seguido de, Suiza con 28%; Finlandia con un 11%; Australia con el 10%; Alemania el 7% de las publicaciones, Inglaterra con 4%; Japón con 3%; en menor proporción se registraron países como Indonesia son 3%, Corea del Sur e India con el 2% respectivamente. Además, el número de publicaciones sigue aumentando, lo que quiere decir que el tema sigue teniendo gran capacidad de estudio y aún queda información que requiere ser estudiada y analizada.

Colombia es por naturaleza un territorio donde predominan los ecosistemas forestales. De los 114 millones de hectáreas que comprenden la superficie del país se estima que 55 millones, el 50% del territorio nacional, mantienen cobertura forestal. Por lo que, en el desarrollo del presente trabajo se describieron de las diferentes especies de maderas que se pueden encontrar en el territorio nacional, se destacan 40 especies que fueron caracterizadas física y mecánicamente por un estudio realizado por WWF y su iniciativa de comercio forestal responsable GFTN (Global Forest & Trade Network por su sigla en inglés) en el marco del proyecto Amazonia Viva, financiado por Unión Europea y WWF Alemania.

Estudios consultados señalaron que la vivienda de madera es una de las alternativas constructivas más sostenibles. En muchos países europeos y norteamericanos, las casas de madera proporcionan la solución más común, económica y práctica para la construcción. Los edificios de

madera presentan niveles adecuados de durabilidad, acústica y confort térmico. A pesar de su popularidad, las casas de madera no cuentan con una clasificación estandarizada para definir y organizar sus principales aspectos.

En la literatura que trata sobre la construcción con madera, la mayoría de los autores enfatizan los sistemas estructurales para grandes luces. La presencia de algunas clasificaciones de la construcción con madera da como resultado problemas poco claros, y pocos estudios han cubierto y considerado los edificios de madera como tipologías de construcción residencial.

Por consiguiente, este trabajo propone una clasificación que conecta los aspectos y detalles de los materiales de las viviendas de madera en relación con el nivel de industrialización y el origen cronológico. Esperamos que esta clasificación ayude a una mejor comprensión de las distintas técnicas de vivienda de madera producidas comercialmente en todo el mundo, difundiendo sus conceptos y posibilidades como productos de madera forestal.

Referencias bibliográficas

- American Wood Council (2001) Detalles para el marco de madera convencional. Construcción. AF&PA.
- Basbagill, J, Flager F, Lepech, M. y Fischer M. (2013) Aplicación de la evaluación del ciclo de vida al diseño de edificios en etapa temprana para reducir los impactos ambientales incorporados. Build Environ.
- Bell, M. (2004) Eficiencia energética en edificios existentes: el papel de las regulaciones de construcción. En CO- BRA Proc. De la Jornada de Investigación en Construcción y Edificación de la Fundación RICS. 7-8 de septiembre. Leeds. REINO UNIDO.
- Bello, R. (2019) Evaluación de la calidad de la madera utilizada en viviendas de interés social financiadas por el Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI) en Costa Rica. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Benoit Y., Paradis T. (2008) Construction de Maisons à Ossature Bois. (En francés). Eyrolles.
- Comisión Europea (DG ENV). (2011) Contrato de servicios sobre gestión de residuos de construcción y demolición - SR1, Informe final Tarea 2. Recuperado de http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/2011_CDW_Report.pdf. El 20 de septiembre de 2014.
- Dodoo, A. (2011) Ciclo de vida del uso de energía primaria y emisión de carbono de los edificios residenciales. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería y Desarrollo Sostenible, Universidad Mid Sweden. Östersund, Suecia
- Dodoo, A. y Gustavsson, L. y Sathre, R. (2012) Efecto de la masa térmica en los balances de energía primaria del ciclo de vida de un edificio con estructura de hormigón y madera. Appl Energ 92; 462-472.
- Dussan, I. y Rincón, M. (2014) Uso de la madera como materia prima de construcción para una

solución de vivienda en un sector socioeconómico medio de la población en la ciudad de Villavicencio-Meta. Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia.

EN 15804: (2012) + A1: (2013) Sostenibilidad de las obras de construcción - Declaraciones medioambientales de productos - Normas básicas para la categoría de productos de la construcción. Comité Europeo de Normalización.

EN 15978: (2011) Sostenibilidad de las obras de construcción. Evaluación del comportamiento medioambiental de los edificios. Método de cálculo. Comité Europeo de Normalización.

EN 16449: (2014) Madera y productos derivados de la madera. Cálculo del contenido de carbono biogénico de la madera y conversión en dióxido de carbono. Comité Europeo de Normalización

EN 16485: (2014) Madera en rollo y aserrada. Declaraciones medioambientales de productos. Normas de categorías de productos para la madera y los productos a base de madera para su uso en la construcción. Comité Europeo de Normalización.

EPA (Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.) (2007) Tendencias energéticas en sectores de fabricación seleccionados: oportunidades y desafíos para resultados energéticos ambientalmente preferibles. Accedido en:<http://www.epa.gov/sectors/pdf/energy/report.pdf> el 9 de noviembre de 2013

Fava, JA. (2006) ¿Los próximos 10 años serán tan productivos en el avance de los enfoques del ciclo de vida como los últimos 15 años? *Int J LCA* 11 (1): 6–8.

Fernández Ibáñez Carmelo (2001) La madera: Composición, Alteraciones y Restauración Boletín del Museo de las Villas Pasiegas, Asociación de Estudios Pasiegos. Santander.

Finlandeses. Informe B79, Universidad Tecnológica de Helsinki. Laboratorio de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado, Helsinki

Flórez, E. (2018) Factibilidad para la construcción de viviendas de madera de interés social en el

- distrito de Carumas – Moquegua - 2018. Universidad Cesar Vallejo.
- Frischknecht, R. (2006) Nociones sobre el diseño y uso de una base de datos ideal de ACV regional o global. *Int J LCA* 11; 40-48.
- Gerilla, GP, Teknomo, K. y Hokad, K. (2007) Una evaluación ambiental de la construcción de viviendas de hormigón armado de madera y acero. *Build Environ*.
- Gustavsson, L. y Sathre, R. (2006) Variabilidad en los balances de energía y dióxido de carbono de materiales de construcción de madera y hormigón. *Build Environ*. 41.
- Guy, B. y Ciarimboli, N. (2008) - Diseño para el desmontaje en el entorno construido: una guía para el diseño y la construcción de circuito cerrado. Centro Hamer de diseño comunitario.
- Harvey, L. (2009) Reducción del uso de energía en el sector de la edificación: medidas, costes y ejemplos. *Eficiencia energética* 2 (2): 139-163. '
- Hennigar, CR, Maclean, DA, y Amos, LJ. (2008) Un enfoque novedoso para optimizar las estrategias de gestión del carbono almacenado tanto en los bosques como en los productos madereros. *Ecología y gestión forestal*.
- Hermoso, C. y Fernández, G. (2007) Caracterización estructural de la madera de pinus radiata d. don del país vasco (españa) acorde a las modificaciones normativas maderas, *cienc. tecnol.* vol.9, n.3. Issn 0718-221x.
- Hirashima, Y. et al. (2005) Propiedades de resistencia de la madera envejecida III: propiedades de resistencia a la flexión estática y al impacto de la madera envejecida de keyaki y akamatsu (en japonés). *Mokuzai gakkaiishi* 51: 146-152.
- Höglmeier, K, Weber, G, Richter, K. (2013) Potencial de cascada de madera recuperada de la deconstrucción de edificios: un estudio de caso para el sureste de Alemania. *Resour Conserv Recy*.
- ISO 14040: 2006, Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Principios y marcos.

Organización Internacional de Normalización.

ISO 14044: 2006, Gestión medioambiental. Evaluación del ciclo de vida. Requisitos y directrices.

Organización Internacional de Normalización.

Itard L, Meijer F, Vrins E, y Hoiting H. (2008) Renovación y modernización de edificios en Europa: Revisión del estado del arte. OTB Instituto de investigación para estudios de vivienda, urbanismo y movilidad. Universidad Tecnológica de Delft. Países Bajos

Joelsson A. (2008) Eficiencia energética primaria y CO2 mitigación en la construcción residencial sueca. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería y Desarrollo Sostenible, Universidad Mid Sweden. Östersund, Suecia

Jokisalo, J. y Kurnitski, J. (2005) Efecto de la inercia térmica y otros factores del edificio y HVAC sobre el rendimiento energético y el confort térmico en edificios de apartamentos

Karimpour, M. Belusko, M. Xing, K. y Bruno, F. (2014) Minimizar la energía del ciclo de vida de los edificios: revisión y análisis. Build Environ.

Kuosa, H. (2012) Reutilización de áridos reciclados y otros residuos de C&D. Centro de investigación técnica de Finlandia VTT, informe de investigación VV-R-05984-12. Recuperado de <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2012/VTT-R-05984-12.pdf>. El 20 de septiembre de 2014.

Liu G y Han S. (2009) El manejo forestal a largo plazo y la transferencia oportuna de carbono a los productos de madera ayudan a reducir el carbono atmosférico. Modelización ecológica 220 (13-14).

Martani C, Lee D, Robinson P, Britter R. y Ratti C. (2012) ENERNET: Estudiar la relación dinámica entre la ocupación de edificios y el consumo de energía. Generación de energía. 47; 584-591.

Mohammed TI et al. (2013) Emisiones operativas frente a incorporadas en edificios: una revisión

de las tendencias actuales. *Generación de energía*. 66: 232-245.

Moncaster AM y Symons KE. (2013) Un método y una herramienta para "cradle to grave" incorporó los impactos de carbono y energía de los edificios del Reino Unido de acuerdo con el nuevo TC350. *Energ Buildings*.

Moncaster AM y Symons KE. (2013) Un método y una herramienta para "cradle to grave" incorporó los impactos de carbono y energía de los edificios del Reino Unido de acuerdo con el nuevo TC350. *Energ Buildings*.

Murakami S. (2008) *Evaluación ambiental de la arquitectura vernácula (japonés)*. Prensa de la Universidad de Keio. Tokio

Murillo, R. (2017) *La madera como sistema constructivo para generar viviendas sostenibles en Medellín*. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.

Nord T. (2008) *Estrategias de prefabricación en la industria de la vivienda de madera: estudios de casos de los mercados sueco y austriaco*. Informe técnico, Universidad Tecnológica de Luleå. Recuperado de <http://epubl.ltu.se/1402-1536/2008/16/LTU-TR-0816-SE.pdf>.

Nordby AS. (2009) *Rescatabilidad de materiales de construcción - Razones, criterios y consecuencias del diseño de edificios para facilitar la reutilización y el reciclaje*. Tesis doctoral. Universidad de Ciencia y Tecnología de Noruega. Trondheim, Noruega

Obata Y, Takeuchi K, Soma N. y Kanayama K. (2006) *Reciclaje de residuos de madera como recurso industrial sostenible, Diseño de tableros de madera ahorradores de energía para sistemas de calefacción por suelo radiante*. *Energy* 31 (13).

Ooka Y, Tanahashi H, Izuno K, Suzuki Y. y Toki K. (2011) *Propiedades de resistencia y empotramiento de elementos de madera viejos utilizados en edificios de madera tradicionales japoneses (en japonés)*. *Revista de ingeniería estructural* 57B.

Orosa JA y Oliveira AC. (2009) *Ahorro energético con métodos de climatización pasiva en*

edificios de oficinas españoles. Generación de energía.

Pacheco, M. y Gómez, L. (2017) Determinación de la viabilidad técnica del sistema constructivo de casas de interés social en madera para implementación en el área urbana del municipio de Chía – Colombia. Colombia: Universidad Católica de Colombia.

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

Palolahti T, Kivimäki C. y Mäki T. (2013) ROK - Rakennusosien Kustannuksia 2013. Rakennustieto Oy. ISBN 9789522670359

Puerro, N. (2010) Madera postconsumo. EUwood - Informe final. págs. 93-96 (160 pág.). Ramesh T, Prakash R. y Shukla KK. (2010) Análisis energético del ciclo de vida de los edificios: una visión general. Generación de energía. 42: 1592-1600.

Rampazzo SE, Sponchiado M. (2000) Uso da Madeira de Reflorestamento na Construção Civil com Enfoque na Habitação. (En portugués). En: Revista de Pesquisa e Pós-Graduação, vol. 2000.

Rüter S. y Diederichs S. (2012) Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz (alemán) (conjuntos de datos de evaluación del ciclo de vida para productos de construcción a base de madera). Universität Hamburg, Thünen-Institute of Wood Research, Informe No: 2012/01. Recuperado de en http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dn050490.pdf.

Sartori I y Hestnes AG. (2007) Uso de energía en el ciclo de vida de edificios convencionales y de bajo consumo energético: artículo de revisión. Generación de energía. 39: 249-257.

Sathre R y Gustavsson L. (2006) Balances de energía y carbono de las cadenas en cascada de la madera. Resour Conserv Recy 47.

Sathre R y O'Connor J. (2010) Una síntesis de la investigación sobre productos de madera e impactos de gases de efecto invernadero 2ª edición. FP Innovations (Informe técnico nº TR-

- 19R). Vancouver, BC 117p.
- Sathre R. (2007) La energía del ciclo de vida y las implicaciones del carbono de los materiales y la construcción a base de madera. Tesis doctoral. Ecotecnología y Ciencias Ambientales, Universidad Mid Sweden. Östersund, Suecia
- Shahriar, A. (2019) Finite-Element Analysis of Wood-Frame Houses under Lateral Loads. American Society of Civil Engineers.
- Thormark C. (2006) El efecto de la elección del material en la necesidad total de energía y el potencial de reciclaje de un edificio. Build Environ. 41.
- Videla, L. (2012) La construcción de vivienda en madera: ¿Una alternativa eficiente? Uruguay: Universidad de Uruguay.
- Wittstock B. et al. (2012) Documento de orientación EeBGuide, Parte A: Productos y Parte B: Edificios, Orientación operativa o estudios de evaluación del ciclo de vida de la Iniciativa de Edificios Eficientes Energéticamente. Reporte de Proyecto.
- Yamada T. (2012) Transición de la relación autosuficiente de madera y precio de la madera nacional en relación con la liberalización comercial. Informe en el comité de presupuesto de la cámara alta. Accedido en: https://www.yamada-toshio.jp/minutes/pdf/120808_02_03.pdf. El 1 de febrero de 2015
- Yamasaki M, Hirashima Y. y Sasaki Y. (2005) Propiedades mecánicas de la madera usada reciclada de templos antiguos (en japonés). Revista de ingeniería estructural y de la construcción.