

CARACTERIZACIÓN, CLASIFICACIÓN Y PATOLOGÍA DE LAS ESPECIES DE
MADERAS MÁS USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN COMO ELEMENTOS
ESTRUCTURALES PERMANENTES EN LA CIUDAD DE CARTAGENA



Investigadores

ÁLVARO ANTONIO BONFANTE POLO
KEVIN ANDRÉS BUSTOS MOLINA

Director

ING. WALBERTO RIVERA MARTINEZ
M.Sc ESTRUCTURAS

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA D.T y C

Enero del 2014

CARACTERIZACIÓN, CLASIFICACIÓN Y PATOLOGÍA DE LAS ESPECIES DE
MADERAS MÁS USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN COMO ELEMENTOS
ESTRUCTURALES PERMANENTES EN LA CIUDAD DE CARTAGENA

Grupo de investigación
OPTICOS

Línea de investigación
SEGURIDAD ESTRUCTURAL

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil



Investigadores

ÁLVARO ANTONIO BONFANTE POLO
KEVIN ANDRÉS BUSTOS MOLINA

Director

ING. WALBERTO RIVERA MARTINEZ
M.Sc ESTRUCTURAS

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA D.T y C

Enero del 2014



DEDICATORIAS

KEVIN ANDRÉS BUSTOS MOLINA

En la inteligencia no hay medida...sólo el hecho de ser inteligente es suficiente... pues cuando queremos serlo es cuando empezamos a recorrer el camino que nos lleva a ella.

(Anónimo)

ÁLVARO ANTONIO BONFANTE POLO

A Roberto, Bianis, Andrés, Diana, María-Isa, Norelvis, Maida, Jorge, Carlos, Libia e Isaac, todos con sus respectivos padres; quienes me han visto evolucionar y crecer a lo largo de mi vida. En resumen, todo esfuerzo que yo realice, está dedicado a mi familia, los seres sin los cuales no me siento capaz de existir, en especial se lo dedico a la memoria de mi abuela María Mora Argel, cuya filosofía siempre fue: *“la mejor forma de salir adelante es mediante los estudios, usted estudie y verá...”*.



AGRADECIMIENTOS

KEVIN ANDRES BUSTOS MOLINA

Agradezco principalmente a Dios por llenarme de sus infinitas bendiciones, darme salud y vida para existir; Agradecimientos enormes a mis padres, hermanos, amigos, familiares y principalmente a mi tía Nora Bustos y a mi tío pastor Herazo quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional cada vez que lo necesito; a todos los profesores que fueron participe en mi aprendizaje y en mi formación académica; al Ingeniero Civil Walberto Rivera Martínez, quien fue nuestro guía y director en este Trabajo de grado y también al señor Rodrigo Sánchez quien con su apoyo, asesorías, orientación hizo que este trabajo de grado tuviese una exitosa culminación.

ALVARO ANTONIO BONFANTE POLO

En primer lugar, gracias a Dios, que nos ha permitido llegar hasta donde estamos, nos ha dado fuerzas para soportar las adversidades, entendimiento para satisfacer nuestra avidez de conocimiento, y sobre todo la vida y la salud para existir.

Agradezco sincera y cálidamente a cada uno de los miembros de mi familia, en especial a quienes durante el transcurso de mi carrera estuvieron apoyándome en todo cuanto necesité para salir adelante.

También agradezco a las personas con las que compartí todo éste tiempo, y se convirtieron en mi grupo de estudio y amigos, por brindarme su tiempo, comprensión y compartir conmigo sus conocimientos.

Finalmente, agradezco a cada persona que hizo posible la realización de éste documento, mediante su apoyo incondicional, sabios concejos y ofrecimiento de su ayuda oportuna.



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	14
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. OBJETIVO GENERAL	18
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
3. ALCANCE	19
3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL – GEOGRÁFICA	19
3.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	19
3.3. ALCANCE DEL PROYECTO	20
4.1. ELEMENTOS ESTRUCTURALES	21
4.2. LA MADERA COMO MATERIA PRIMA	21
4.3. CLASIFICACIÓN DE LA MADERA DE ACUERDO A SU DUREZA	24
4.3.1. Coníferas o resinosas	24
4.3.2. Latifoliadas, frondosas o dicotiledóneas	24
4.4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA	24
4.4.1. Humedad	25
4.4.2. Densidad.....	26
4.4.3. Contracción e hinchamiento.....	27
4.4.4. Dureza	27
4.4.5. Hendibilidad	28
4.4.6. Conductividad.....	28



4.4.7.	Dilatación térmica.....	28
4.4.8.	Duración	28
4.4.9.	Propiedades acústicas.....	29
4.5.	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA.....	29
4.5.1.	Módulo de Elasticidad E.....	29
4.5.2.	Rigidez	29
4.5.3.	Tenacidad	29
4.5.4.	Dureza	30
4.5.5.	Tipos de Resistencia de la madera.....	30
4.5.6.	Tipos de esfuerzo.....	31
4.5.7.	Características naturales que afectan las propiedades mecánicas	32
4.6.	CLASIFICACIÓN DE LA MADERA POR RESISTENCIA	34
4.6.1.	Conceptos básicos sobre la resistencia de las maderas.	35
4.7.	PATOLOGÍA DE LA MADERA	35
4.7.1.	Protección de la Madera.....	36
4.7.2.	Métodos de conservación y preservación de la madera.....	40
4.7.3.	Clases de riesgo	44
4.7.4.	Causas biológicas	47
4.7.5.	Causas abióticas.....	51
4.7.6.	Comportamiento de la madera frente al fuego	52
4.7.7.	Inspección de los elementos y diagnóstico de la patología.....	54
4.8.	SEGURIDAD INDUSTRIAL EN OBRAS ESTRUCTURALES DE MADERA .	57
4.8.1.	Protección para trabajo en alturas.....	57
4.8.2.	Protección visual y facial.	58



4.8.3.	Protección para la cabeza.	59
4.8.4.	Prevención y control de incendios	59
4.8.5.	Causas de incendios.	62
5.	ANTECEDENTES	64
5.1.	LA MADERA COMO ELEMENTO DE LA CONSTRUCCIÓN	64
5.2.	PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA	65
5.3.	SISTEMA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO PARA PISOS EN MADERA.	65
5.4.	DETERIORO DE LA MADERA EN EDIFICIOS, PATOLOGÍA Y CONTROL	66
6.	ESTADO DEL ARTE.....	67
6.1.	VALORACIÓN IN SITU DE POSTES ELÉCTRICOS DE MADERA	67
6.2.	EPOXIREPARACIÓN DE JUNTAS DE MADERA	67
6.3.	REPARACIÓN DE COLUMNAS DE MADERA MEDIANTE REFUERZOS ...	68
7.	MARCO LEGAL.....	69
8.	METODOLOGÍA.....	71
9.	RESULTADOS	82
9.1.	CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN.....	82
9.1.1.	Abarco.....	84
9.1.2.	Carreto.....	87
9.1.3.	Guayacán trébol.....	90
9.1.4.	Nazareno	92
9.1.5.	Guayacán polvillo.....	95
9.1.6.	Puy	97
9.2.	ENSAYOS DE INSPECCIÓN PATOLÓGICA REALIZADOS	99
9.3.	EXTRACCION DE TESTIGO EN LAS ESPECIES ESTUDIADAS.....	102



9.4. ELABORACION DE XILOTECA	110
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	112
10.1. RESULTADOS CUANTITATIVOS.....	112
10.2. RESULTADOS CUALITATIVOS.....	113
10.3. DIAGRAMA PARA LA SANIDAD DE ESTRUCTURAS EN MADERA	115
11. CONCLUSIONES	116
12. RECOMENDACIONES	118
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la ciudad de Cartagena de Indias.	19
Figura 2. a) Ejemplo de bosque natural, b) Ejemplo de bosque artificial	21
Figura 3. Sucesión natural del bosque	22
Figura 4. Comportamiento de elementos de madera según los esfuerzos.....	23
Figura 5. Diagrama típico Esfuerzo – Deformación.....	31
Figura 6. Tipos de nudos, A, Nudo de encajonado; B, Nudo de intercrecimiento	33
Figura 7. Pendiente y orientación de las fibras.....	34
Figura 8. Degradación de la madera	46
Figura 9. Ataque por hongos en piezas machihembradas de pino Radiata	47
Figura 10. Anatomía de una especie Conífera con hongos	48
Figura 11. Pieza de madera atacada por Hongo de Pudrición	48
Figura 12. Pieza de madera atacada por Moho.....	49
Figura 13. Termitas deteriorando pieza de madera.....	51
Figura 14. Comportamiento de la madera frente a la acción del fuego	54
Figura 15. Esclerómetro usado para ensayos no destructivos.	74
Figura 16. a) Penetración muestra sana; b) penetración muestra deteriorada.	77
Figura 17. Taladro usado para la extracción de los testigos de madera.	103



Figura 18. Especificaciones de la broca-sierra señaladas en el prototipo.....	103
Figura 19. Muestra de Nazareno con los testigos extraídos de las perforaciones	104
Figura 20. Testigo extraído de la especie Nazareno	104
Figura 21. Viruta extraída junto con el testigo de Nazareno	105
Figura 22. Muestra de Puy con el testigo extraído	105
Figura 23. Viruta extraída junto con el testigo de Puy.....	106
Figura 24. Muestra de Guayacán polvillo con el testigo extraído	106
Figura 25. Testigo extraído de Guayacán Polvillo	106
Figura 26. Muestra sana de Guayacán Trébol con los testigos extraídos.	107
Figura 27. a) Testigo de Guayacán Trébol sano; b) Viruta.....	107
Figura 28. a) Viruta de Guayacán trébol deteriorado; b) Testigo de Guayacán deteriorado	108
Figura 29. Muestras y testigos extraídos sanos de a) Abarco y b) Carreto.	108
Figura 30. a) Viruta de carreto en mal estado; b) Testigos de carreto en mal estado.	109
Figura 31. a) Viruta de Abarco en mal estado; b) Testigos de Abarco en mal estado.....	109
Figura 32. Cortes de las muestras con la sierra	111
Figura 33. Corte de las muestras con serrucho de corte fino, para una longitud deseada ...	111
Figura 34. Muestras con el tamaño adecuado, listas para pulir	111
Figura 35. Proceso de pulido y elemento terminado.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Densidades básicas de las maderas más usadas en Cartagena	26
Tabla 2. Resumen de los métodos de tratamiento para las maderas	40
Tabla 3. Estimación de la resistencia a la compresión según lectura en el esclerómetro.	74
Tabla 4. Datos del esclerómetro tabulados para obtención del gráfico Resistencia-Lectura. 75	
Tabla 5. Clave para la identificación de resultados de las propiedades físicas	83
Tabla 6. Clave para identificación de propiedades mecánicas según ASTM	83
Tabla 7. Datos de densidad y lectura obtenida en el esclerómetro por especie.....	112



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Ajuste de una curva Potencial, al graficar los valores del esclerómetro.	76
Gráfico 2. Curva Resistencia a la compresión Vs Lectura en el esclerómetro, extendida.	76
Gráfico 3. Relación entre la lectura promedio del esclerómetro Vs densidad	112

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados de ensayos con esclerómetro en la especie Abarco	99
Cuadro 2. Resultados de ensayos con esclerómetro en la especie Abarco	100
Cuadro 3. Resultados de ensayos con esclerómetro en la especie Guayacán Polvillo	100
Cuadro 4. Resultados de ensayos con esclerómetro en la especie Guayacán Trébol	101
Cuadro 5. Resultados ensayos con esclerómetro en la especie Nazareno.....	101
Cuadro 6. Resultados de ensayos con esclerómetro en la especie Puy.....	102

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Procedimiento para la ejecución de la investigación.	81
Diagrama 2. Sanidad de estructuras en madera	115



RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo la caracterización, clasificación y patología de las especies de madera más utilizadas en la ciudad de Cartagena como elementos estructurales permanentes dichas especies son: Abarco, Carreto, Guayacán trébol, Guayacán polvillo, Nazareno y Puy.

Para conocer cada una de las características de las especies de madera estudiadas y su patología se procedió a realizar una investigación de tipo mixta, es decir, una investigación bibliográfica y una experimental.

La importancia del estudio reside en desarrollar una xiloteca, y una guía técnica ya que a través de estos productos se identifican y caracterizan las patologías y propiedades físicas y mecánicas de las especies anteriormente mencionadas. A partir de los resultados de este estudio se pretende brindar una base sólida de información e implementar un nuevo método semidestructivo, (Extracción de testigo con broca Sierra) para analizar el estado de las maderas in situ, un método no destructivo con el esclerómetro para estimar su resistencia a la compresión y además caracterizar las propiedades físicas y mecánicas para el uso adecuado de las maderas.

A partir de muestras de madera en buen estado y en deterioro evidente, se realizaron los ensayos mencionados. Los resultados que se lograron en el ensayo no destructivo, fueron relativamente buenos en las muestras sanas, porque graficando los valores de lectura contra la densidad, se observó que son directamente proporcionales, mientras que con las maderas en estado de deterioro, no se llegó al valor mínimo de la lectura del esclerómetro.

Para el ensayo semidestructivo en especímenes en ambos estados, se realizaron las respectivas perforaciones, obteniéndose para los sanos, testigos completos en algunos casos, y otros que en el proceso de la extracción se rompieron, pudiendo ser porque la madera es anisotrópica, porque presenta fractura propia, o simplemente por el corte que le concibieron



inicialmente, entre otras. Pero al tacto se pudo determinar un estado sano y una buena apariencia de la viruta de la madera. En cuanto a los especímenes deteriorados, el producto de la extracción consistió en unos testigos mayormente destrozados, muy porosos, bofos y con apariencia de corcho, acompañados de una viruta que denotaba un mal estado de la madera visualmente.

Palabras clave: Madera, patología, propiedades, resistencia a la compresión, anisotropía, testigos.

ABSTRACT

The present study aims at the characterization, classification and pathology of the species of wood most used in Cartagena as permanent structural elements such species are Abarco , Carreto , clover Guaiacum , Guaiacum powder , Nazarene and Puy.

to know the characteristics each studied specie it proceeded to conduct an investigation of mixed type, ie , a literature research and experimental.

The importance of the study is to develop a wood collection, and as a technical guide through these products is identified and characterized the diseases and physical and mechanical properties of the above species. From the results of this study is to provide a solid base of information and implement a new semi-destructive method (extraction control with drill Saw) to analyze the state of the timber in situ , non-destructive method for estimating the esclerometer its compressive strength and further characterize the physical and mechanical for proper use of wood properties.

From wood samples in good condition and in obvious decline, the above tests were performed. The results achieved in the non-destructive testing, were relatively good in healthy samples because the readout plotting against density was observed which are



directly proportional, while the dilapidated wood, not reached minimum reading esclerometer.

For the test specimens semi-destructive in both states , the respective perforations , obtaining for healthy , full witnesses in some cases and others in the process broke removal , may be because the timber is anisotropic , it presents fracture were performed own , or simply for the court to initially conceived , among others. But touch it was determined a healthy condition and good appearance of the wood chips. As for the damaged specimens, the product consisted of a mining mostly destroyed, very porous, and hollow appearance, cork witnesses, accompanied by a chip denoting a bad condition of the wood visually.

Keywords: Wood, pathology, properties, compressive strength, anisotropy, witnesses.



1. INTRODUCCIÓN

La madera como elemento estructural es un material de gran importancia para la ingeniería y la construcción, por su gran versatilidad, manejabilidad y fácil puesta en obra. Prueba de ello son las estructuras de maderas y casas antiguas que todavía siguen en pie reflejando su valor histórico o monumental que son considerados como patrimonio arquitectónico y/o cultural. (Bsasterra, et al 2006.)

Sin embargo, la conservación y restauración de edificaciones de gran importancia histórica y cultural constituye un difícil reto, y más aún en un medio tan agresivo como el de la ciudad de Cartagena que presenta una humedad promedio de 80% y temperatura alta con promedio de 28°C (IDEAM, 2010), además estos factores climatológicos ayudan a generar un ambiente para la proliferación de organismos dañinos que atacan la madera, el deseo de preservarlas por su valor histórico y cultural demandan un alto nivel de protección contra estos organismos.

Las investigaciones y datos acerca de las propiedades físicas y mecánicas de la madera son poco tenidas en cuenta por parte de los constructores, esto se debe a que los conocimientos de las técnicas empleadas al trabajar con éste material, los adquieren empíricamente (Keenan & Tejada, 1987, pág. 12). Hasta el presente trabajo, no se había podido encontrar estudios y ensayos que compilaron el comportamiento de las especies de madera más usadas en Cartagena con fines estructurales permanentes tales como: guayacán trébol, guayacán polvillo, abarco, carreto, nazareno y puy en lo que se refiere a ensayos pseudo no destructivos que permitieran realizar un análisis patológico de elementos pertenecientes a éstas especies, mediante la comparación de muestras en cuestión, con los patrones de referencia.

Una de las mayores dificultades de la conservación de las construcciones de maderas es poder diagnosticar las causas del deterioro de la edificación y a su vez plantear posibles soluciones ante estos problemas de una determinada madera, para esto se necesita conocer un patrón que indique si dicha estructura en estudio se encuentra en un estado



idóneo o no. Éste patrón, debe derivarse de estudios profundos, en los que se tenga en cuenta un aspecto clave que permita identificar fácilmente, la presencia de una anomalía en las muestras puestas a prueba; por tal motivo las evaluaciones patológicas en los diagnóstico de los elementos estructurales, se convierten en un componente fundamental para cualquier programa de conservación.

Para prolongar la vida útil de las estructuras en madera, resulta de mucha utilidad recurrir a lo expuesto en la Norma Sismo resistente Colombiana (NSR-10), en el título correspondiente a estructuras en madera (Título G), donde se brindan recomendaciones para el cuidado y el mantenimiento a las obras realizadas con éste material. También se hace necesario estudiar la patología, características físicas y mecánicas de las especies de madera que habitualmente se utilizan como elementos permanentes en las obras existentes en la ciudad de Cartagena, mediante inspecciones visuales, recopilación bibliográfica y ensayos de laboratorio, para ofrecer una herramienta confiable, que permita tomar decisiones para la selección de una determinada especie, dependiendo de las exigencias de la obra y las condiciones ambientales. Dentro de ésta patología, se pueden incluir daños causados por la propia configuración y distribución de la fibra de la madera, como es el caso de los nudos y hendiduras naturales de cualquier espécimen, los cuales son un problema que en un determinado momento, pueden conllevar a la exclusión de una pieza de madera en una obra, según el criterio del restaurador.

En el presente trabajo se logró el objetivo de realizar fichas técnicas en la que se registraron la clasificación y caracterización de las especies de maderas más utilizadas en la ciudad de Cartagena como lo son: guayacán trébol, guayacán polvillo, abarco, carrito, nazareno y puy, y los tratamientos necesarios para prevenir o corregir las lesiones recurrentes causados por ataques de agentes patógenos de acuerdo a las condiciones climáticas presentes en la ciudad de Cartagena, o por malformaciones genéticas de la fuente (árbol) que puedan presentarse en las maderas..

La madera no se beneficia del diseño profesional y en general no es resistente contra terremotos, incendios y deterioro causado por insectos y hongos xilófagos (Keenan & tejada, 1987, pág. 12) Por otro lado debido a la escasez de ingenieros, arquitectos y



artesanos con el suficiente adiestramiento en el uso apropiado de maderas tropicales en la construcción y por la escasez de cursos, programas y seminarios de entrenamiento que podrían ayudar a crear una infraestructura de la construcción con madera (EPA, 2009); este material que sirve como elemento estructural con fines permanentes no ha sido eficientemente aprovechado y se ha truncado de una u otra forma su utilización en los procesos de restauración, reestructuración, y en la construcción de edificaciones.

En Colombia, el uso de la madera en el sector de la construcción actualmente se ve restringido por la insuficiencia de conocimientos técnicos en infraestructura de producción adecuada, de leyes, normas y además, debido a perjuicios derivados del desconocimiento del material por parte de los usuarios (Grupo Andino, 1984, pág. 15)

Este proyecto fue ejecutado con metodología mixta, en la que se recurrió a referenciación bibliográfica, y se realizó una serie de ensayos no destructivos y semidestructivos, con el objetivo de obtener resultados cualitativos y cuantitativos y así poder hacer comparaciones y recomendaciones técnicas en base a las maderas estudiadas. Éste proyecto se realizó dentro del programa de ingeniería civil perteneciente a la facultad de ingeniería de la Universidad de Cartagena y está enmarcado en la Sub-línea Reforzamiento, Vulnerabilidad y Patología de las Estructuras de la línea de investigación de Seguridad Estructural del grupo de investigación OPTICOS de la Universidad de Cartagena. Para la satisfactoria ejecución del proyecto, como director y asesor se tuvo al Ingeniero Walberto Rivera Martínez, ya que el tema a tratar esta dentro de sus lineamientos y características académicas y se encuentra realizando estudios en lo concerniente a los materiales de construcción, en los que se destaca la madera en el ámbito de los elementos estructurales permanentes.

Las investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional relacionados con el objeto de este proyecto, son tesis de diferentes universidades, o artículos científicos, dentro de estas encontramos la realizada por (Hermoso,2007),(Hermoso, 2011), entre otras; estas investigaciones son basadas en estudios o ensayos que se enfocan principalmente en indagar sobre las características físicas y mecánicas de las especies



que utilizan en distintas localidades del mundo, generalmente dedicándose específicamente a una sola especie para analizarla minuciosamente.

A nivel local, no se ha encontrado registro alguno de investigaciones que centren su atención en la caracterización y patología de las especies de madera, sin embargo, se han hallado análisis del comportamiento que tiene la madera como tal, al utilizarla en estructuras permanentes en la restauración de casas coloniales por ejemplo los estudios realizados por (Cabarcas & Mejía, 2004) y (Matute & Ayola, 2013), en base a esto, se da la importancia del presente proyecto, para realizar una ampliación de la información con la que se cuenta en la actualidad.

Es necesario que tanto los ingenieros, arquitectos y todas aquellas personas enmarcadas en el campo de la restauración, restructuración y construcción en la Ciudad de Cartagena, cuenten con información fundamentada acerca de la caracterización y clasificación de la madera. Además tener un panorama ampliamente acerca del comportamiento del material a las lesiones que esta puede presentar, así como el estudio patológico a los daños estructurales provocados por altas temperaturas, agentes de deterioro como los ataques de organismos xilófagos y posibles fuentes de humedad, que por medio de una inspección visual poder descubrir puntos críticos donde se hace necesario la inspección instrumental, esto llevarlo a cabo a través de técnicas y herramientas para la ejecución de los diferentes ensayos no destructivos y el análisis de laboratorios, todo esto con el fin de implementar fichas técnicas para tener un soporte y un conocimiento objetivo al momento de afrontar situaciones en la que se presente una restauración, rehabilitación o construcción de edificaciones en madera, Es ahí donde reside la importancia de este trabajo de grado pues servirá de guía y la falta de conocimiento o la falta de información nos puede conducir a establecer diagnósticos erróneos y por lo tanto a un proyecto mal ejecutado.



2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar la patología, características físicas y mecánicas de las especies de madera que habitualmente se utilizan como elementos estructurales permanentes en la ciudad de Cartagena, mediante inspecciones visuales, recopilación bibliográfica y ensayos de laboratorio, para ofrecer una herramienta confiable, que permita tomar decisiones para la selección de una determinada especie, dependiendo de las exigencias de la obra y las condiciones ambientales.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Identificar y Recolectar mediante fuentes bibliográficas, prácticas de laboratorio, e investigación de campo, la información necesaria sobre las características esenciales de las especies de madera utilizadas en la construcción y restauración de edificaciones en la ciudad de Cartagena de Indias.
- ❖ Determinar las propiedades mecánicas tales como compresión, flexión, cizalladura, entre otras, de especies seleccionadas de maderas estructurales permanentes de uso común en la ciudad de Cartagena.
- ❖ Realizar un estudio de la patología de la madera y de elementos estructurales de éste material, identificando los posibles entes patógenos que los afectan, y los tratamientos y procedimientos a realizar para su prevención y reparación.
- ❖ Elaborar guías técnicas que puedan ser utilizada en la ejecución de obras civiles de construcción, remodelación o restauración y sea un apoyo para los futuros profesionales de la construcción que propicien la utilización de la madera como elemento estructural permanente en la ciudad de Cartagena.



3. ALCANCE

3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL – GEOGRÁFICA

El presente estudio se limita geográficamente a la ciudad Cartagena, capital del departamento de Bolívar, se encuentra ubicada en la región Caribe de Colombia, en las coordenadas 10° 25' 30" Latitud Norte y 15° 32' 25" Longitud Oeste. (Ver imagen 1) (Cartagena Caribe, 2012). El objetivo es una investigación a fondo de la caracterización de las especies de madera utilizadas en la construcción como elementos estructurales permanentes en esta zona. Las razones principales son: Cartagena es la localidad en la que los autores de este documento se desenvuelven a diario en el campo de la ingeniería civil; En esta ciudad se recurre considerablemente al uso de la madera en la construcción con ocasión de la remodelación o restauración de edificaciones de valor histórico, y, las condiciones ambientales no son las más favorables para todos los tipos de especies, lo que reduce la población de dichas especies por estudiar.



Figura 1. Ubicación geográfica de la ciudad de Cartagena de Indias.
Fuente: (Cartagena Caribe, 2012)

3.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL

La investigación fue llevada a cabo en el segundo período académico del año 2013, realizando las últimas consultas en el mes de noviembre del mismo año. Las muestras



de las especies de madera que se utilizaron para los ensayos se obtuvieron en los lugares de distribución de madera recomendados por el personal dedicado a proyectos de restauración y/o construcción en éste material (mencionados en la metodología), lo cual permitió asegurarse de que las especies ensayadas realmente se están utilizando en Cartagena.

3.3. ALCANCE DEL PROYECTO

El resultado final del presente trabajo, consiste en una guía técnica de clasificación, caracterización y patología de las especies de madera seleccionadas, que se utilizan en la construcción como elementos estructurales permanentes, dichas especies son: Abarco, Carreto, Guayacán trébol, Guayacán polvillo, Nazareno y Puy. La guía proporciona una información que permite hacer un análisis de las propiedades y usos adecuados de cada especie y ensayos no destructivos (esclerómetro) y semidestructivo (extracción de testigo), con sus respectivas descripciones y resultados. Como aporte adicional, se realizó una herramienta en la que se presentan muestras reales de las maderas estudiadas, acompañadas de la información de mayor interés en cuanto a la temática estructural y patológica (xiloteca), la cual se deja como aporte de material de consulta en la Universidad de Cartagena.



4. MARCO TEÓRICO

4.1. ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Son elementos que hacen parte de la estructura de una edificación, y su función es la de recibir, soportar y transmitir las cargas verticales y horizontales al suelo ejemplo: Columnas, vigas, viguetas, losas, muros, entre otras), (Jaramillo, 2012).

4.2. LA MADERA COMO MATERIA PRIMA

La madera es un material que cumple con las siguientes características: Es biodegradable, reciclable y renovable (artificial). Es extraída de los árboles en bosques naturales o de reforestación, ha sido usada desde la antigüedad para la construcción de viviendas, fuertes, palacios, puentes, templos y armas. Algunas especies brindan una trabajabilidad suficiente para ser esculpida, tallada y moldurada artísticamente, un ejemplo de esto es el oficio luthier (fabricación de instrumentos musicales).



Figura 2. a) Ejemplo de bosque natural, b) Ejemplo de bosque artificial
Fuente: (Sánchez, 2009)

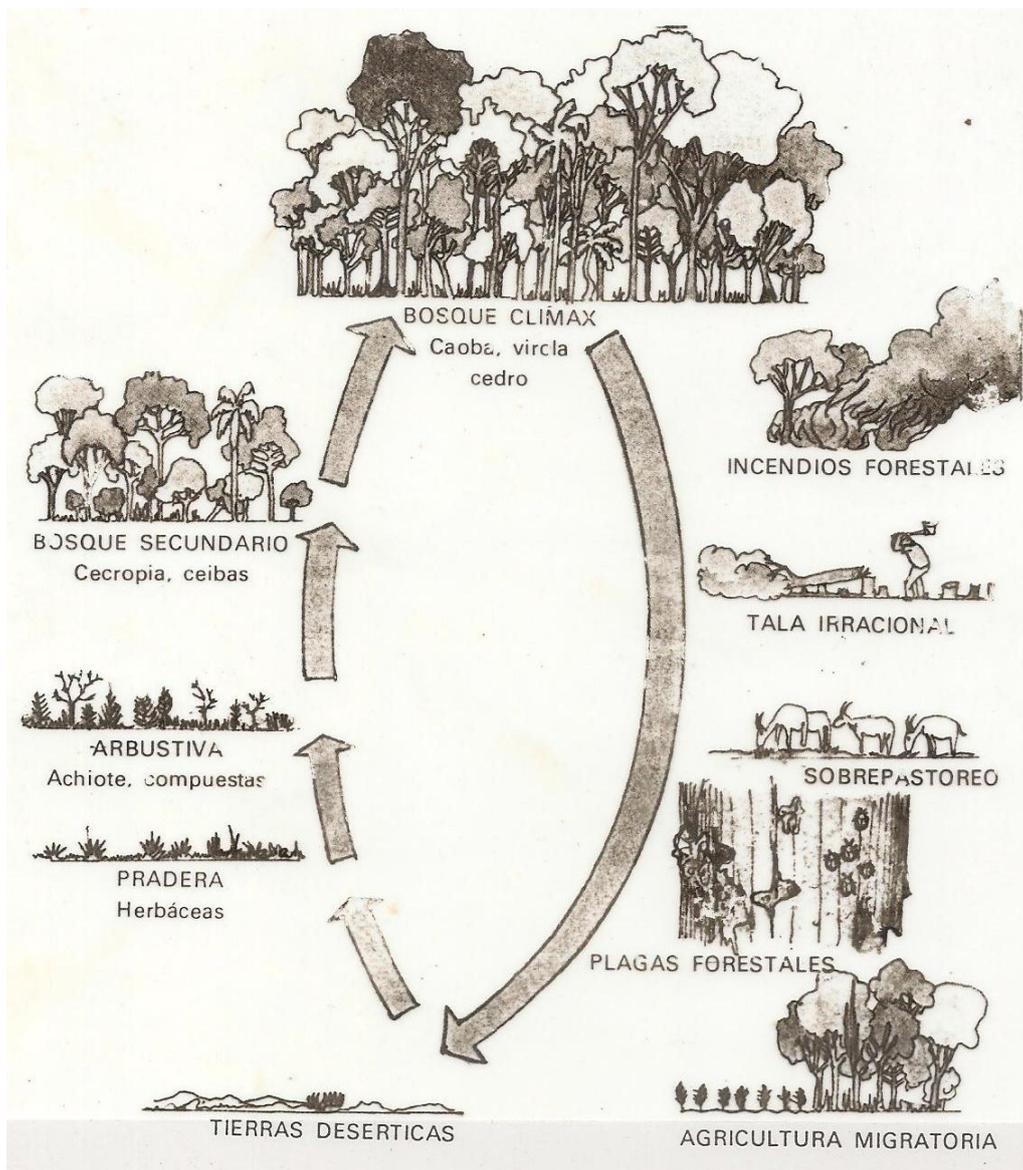


Figura 3. Sucesión natural del bosque
Fuente: (Sánchez, 2009)

Si se ordenan las formas que puede adoptar la madera en una combinación múltiple de líneas, superficies y sólidos, podemos sistematizar el comportamiento de cada una de estas formas y sus agrupamientos ante la acción de los esfuerzos.

De ésta manera, un trozo de madera se puede comparar con una gran cantidad de sorbetes (pitillos) que han sido unidos entre sí. Por ésta razón la madera tiene propiedades anisotrópicas, es decir, resiste la acción de fuerzas exteriores de manera diferente según la dirección que tomen dichas fuerzas.



ELEMENTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ESFUERZO											
TRACCION											
COMPRESION											
FLEXION											
TORSION											
CORTE											

Figura 4. Comportamiento de elementos de madera según los esfuerzos.
 Fuente: (Sánchez, 2009)



4.3. CLASIFICACIÓN DE LA MADERA DE ACUERDO A SU DUREZA

Las especies maderables se pueden clasificar en coníferas o resinosas y Latifoliadas o frondosas.

4.3.1. Coníferas o resinosas

Las especies pertenecientes a éste grupo de maderas están esencialmente por “traqueidas” y son de hojas angostas (de 1.5 a 6mm) y perennes. Tienen generalmente una marcada rectitud del fuste y muy buena trabajabilidad, condiciones que las hacen aptas para la fabricación de estructuras complejas, como aviones e instrumentos musicales, así como también para aplicaciones sencillas, como la fabricación de cajones. Habitan generalmente en zonas de clima templado a templado-frío y húmedas (Tortorelli, 2009). Las especies de coníferas más conocidas son: Pino Paraná, Pehuen, Ciprés, Alerce, Pino del Cerro, Ten, Maniú macho, Maniú hembra, Piñeitiño, Lleuque, Ciprés enano (Universidad Tecnológica Nacional, 1988).

4.3.2. Latifoliadas, frondosas o dicotiledóneas

Existen aproximadamente 120.000 especies de ésta clase en todo el mundo. Las maderas pertenecientes a ésta clase están constituidas por vasos, fibras y tejido parenquimático longitudinal y son de hojas anchas “latifoliadas” y caducas, es decir que se caen en otoño como el fresno, el nogal, el roble, el haya o el ébano (Universidad Tecnológica Nacional, 1988).

4.4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

Las propiedades de la madera dependen, del crecimiento, edad, contenido de humedad, clases de terreno y distintas partes del tronco.



4.4.1. Humedad

La madera contiene agua de constitución, inerte a su naturaleza orgánica, agua de saturación, que impregna las paredes de los elementos leñosos, y agua libre, absorbida por capilaridad por los vasos y traqueidas.

Como la madera es higroscópica, absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente. El agua libre desaparece totalmente al cabo de un cierto tiempo, quedando, además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la atmósfera que rodee a la madera, hasta conseguir un equilibrio, diciéndose que la madera esta secada al aire (Ale, 2010).

La humedad de la madera varía entre límites muy amplios. En la madera recién cortada oscila entre el 50 y 60 por ciento, y por imbibición puede llegar hasta el 250 y 300 por ciento. La madera secada al aire contiene del 10 al 15 por ciento de su peso de agua, y como las distintas mediciones físicas están afectadas por el tanto por ciento de humedad, se ha convenido en referir los diversos ensayos a una humedad media internacional de 15 por ciento. La humedad de las maderas se aprecia, además del procedimiento de pesadas, de probetas, húmedas y desecadas, y el colorimétrico, por la conductividad eléctrica, empleando girómetros eléctricos. Estas variaciones de humedad hacen que la madera se hinche o contraiga, variando su volumen y, por consiguiente, su densidad (Ale, 2010).

El contenido de humedad (CH%) tiene gran influencia sobre el peso de la madera y en sus propiedades mecánicas. La relación del CH% con las propiedades mecánicas es inversa (a menor CH%, mayor resistencia). Con un CH% superior al 30% (en estado la madera se considera verde), la madera tiene poca variación en sus propiedades mecánicas. Pero a medida que la madera se seca por debajo del 30%, las paredes celulares se vuelven más duras y rígidas, lo cual trae consigo un aumento de las propiedades mecánicas con excepción de la tenacidad. De lo anterior se concluye que, es necesario dar a conocer el contenido de humedad de la madera con que se está trabajando, para saber que se puede esperar en cuanto las propiedades físicas y mecánicas se refieren.



El término “trabajo de la madera” se refiere a la pérdida o ganancia de CH%, lo cual se debe a la higroscopicidad de la madera; esta pérdida o ganancia de humedad tomada de la atmósfera, viene acompañada por contracciones o hinchazones y por consiguiente con todos los problemas asociados. (Escobar & Ricardo, 1995).

4.4.2. Densidad

La densidad real de las maderas es sensiblemente igual para todas las especies, aproximadamente 1,56. La densidad aparente varía no solo de unas especies a otras, sino aún en la misma con el grado de humedad y sitio del árbol, y para hallar la densidad media de un árbol hay que sacar probetas de varios sitios. (Ale, 2010).

Las maderas se clasifican por sus densidades (g/cm³) básicas en Pesadas, si es mayor de 0.8; ligeras, si está comprendida entre 0.5 y 0.7; y muy ligeras, las menores de 0.5. Las densidades básicas de las maderas más usadas en Cartagena son las que aparecen en la tabla 1.

Tabla 1. Densidades básicas de las maderas más usadas en Cartagena

Fuente: (Escobar & Ricardo, 1995)

MADERA	DENSIDAD BASICA (g/cm³)
ABARCO	0.55
CARRETO	0.77
GUAYACÁN TREBOL	0.78
NAZARENO	0.89
GUAYACÁN POLVILLO	0.92
PUY	0.85

Con respecto a la densidad, se debe tener en cuenta lo siguiente:

El término “verde”, se refiere a la madera con un contenido de humedad mayor del 30%. La densidad verde, es la relación entre el peso y el volumen verdes.



El término “seca al aire”, se refiere a la madera que ha alcanzado un contenido de humedad en condiciones de secado natural (al aire). Su valor sería el contenido de humedad que alcanzaría en equilibrio con las condiciones atmosféricas del lugar. En Cartagena el contenido de humedad en equilibrio es del 15%. La densidad seca al aire, es la relación entre el peso y el volumen secos al aire.

El término “seca al horno”, se refiere a la madera que se ha secado hasta un contenido de humedad del 0% o sea madera en estado anhidro. La densidad anhidra, es la relación entre el peso y volumen anhidros.

El término “densidad básica”, es una relación especial entre el peso anhidro y el volumen verde. Esta densidad es la menor de todas y es utilizada para fines de comparación. (Escobar & Ricardo, 1995).

4.4.3. Contracción e hinchamiento

La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. Cuando pierde agua, se contrae o merma, siendo mínima en la dirección axial o de las fibras, no pasa del 0.8 por ciento; de 1 a 7.8 por ciento, en dirección radial, y de 5 a 11.5 por ciento, en la tangencial. La contracción es mayor en la albura que en el corazón, originando tensiones por desecación que agrietan y alabean la madera (Universidad Católica del Norte, 2012).

El hinchamiento se produce cuando absorbe humedad. La madera sumergida aumenta poco de volumen en sentido axial o de las fibras, y de un 2.5 al 6 por ciento en sentido perpendicular; pero en peso, el aumento oscila del 50 al 150 por ciento (Ale, 2010).

4.4.4. Dureza

La dureza de la madera es la resistencia que opone al desgaste, rayado, clavar, etc. Depende de su densidad, edad, estructura y si se trabaja en sentido de sus fibras o en el



perpendicular. Entre más vieja y dura es, mayor la resistencia que opone. (Universidad Católica del Norte, 2012).

4.4.5. Hendibilidad

Se llama también facilidad a la raja y es la aptitud de las maderas a dividirse en el sentido longitudinal bajo la acción de una cuña. El rajado es más fácil, en sentido de los radios. Como madera muy hendible se acostumbra citar el castaño, como madera hendible, el roble, y como madera poco hendible, el carpe (Universidad Católica del Norte, 2012).

4.4.6. Conductividad

La madera seca es mala conductora del calor y electricidad, no así cuando está húmeda. La conductividad es mayor en el sentido longitudinal que en radial o transversal, y más en las maderas pesadas que en las ligeras o porosas, por lo cual se emplean como aisladores térmicos en los pavimentos y paredes (Universidad Católica del Norte, 2012).

4.4.7. Dilatación térmica

El coeficiente de dilatación lineal de la madera es muy pequeño, pudiendo ser despreciado.

4.4.8. Duración

La duración de la madera varía mucho con la clase y medio. A la intemperie, y sin impregnar depende de las alternativas de sequedad y humedad: el roble dura 100 años; álamo, sesenta a noventa años; pino, alerce, cuarenta a ochenta años; sauce dura treinta años. Se admite como duración media de la madera enterrada la de diez años (Universidad Católica del Norte, 2012).



4.4.9. Propiedades acústicas

La madera proporciona un medio elástico adecuado a las ondas sonoras, por lo que se emplea ampliamente en la fabricación de instrumentos musicales y en la construcción de salas de conciertos, teatros, etc. Las características de la madera que más influyen sobre esta propiedad son el peso específico aparente, es decir, la humedad, el tipo de grano y la ausencia de defectos (Ale, 2010).

4.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

4.5.1. Módulo de Elasticidad E

Elasticidad implica que las deformaciones producidas por cargas pequeñas son completamente recuperables después que las cargas se eliminan. Cuando se llega a niveles altos de carga, se produce la deformación plástica o la falla. Los tres módulos de elasticidad, que se denotan por EL, ER y ET, módulos elásticos a lo largo de los ejes longitudinales, radiales y tangenciales de la madera, respectivamente. (Ale, 2010).

4.5.2. Rigidez

Este término se refiere a la capacidad de la madera para resistir deflexión o doblado. La medida de la rigidez de una madera se denomina como módulo de elasticidad (MOE). A mayor MOE más rigidez será una madera. El módulo de elasticidad es la relación del esfuerzo a la deformación. La rigidez de una madera se debe considerar, no solo en vigas, sino también en columnas delgadas largas.

4.5.3. Tenacidad

Este término se refiere a la capacidad de la madera para resistir cargas repentinas (golpe o choque). Generalmente las fibras de madera de alta tenacidad, están entrecruzadas lo cual hace que la madera se doblan o torsionan mucho más. Sin romperse o fracturarse.



Hablar de una madera frágil es un término opuestos a madera tenaz. La fragilidad se puede atribuir a la fragilidad misma de las fibras o a defectos tales como, nudos o grano desviado.

4.5.4. Dureza

Este término a la resistencia que presenta una madera a la indentación, a las abolladuras y al desgaste. La madera dura es generalmente aquella que presenta buenas características o resistencia al desgaste, lo cual es importante para la madera de pisos. Por lo general las maderas duras son densas y debido a esto, presentan cierta dificultad para ser trabajadas.

4.5.5. Tipos de Resistencia de la madera

Estas se dividen, de acuerdo con la resistencia a los diferentes tipos de fuerzas externas en:

Resistencia a la tensión: Es la capacidad de la madera para resistir fuerzas que tratan de estirar la fibra, por lo general en dirección longitudinal.

Resistencia a la compresión: Es la capacidad de la madera para resistir fuerzas externas que tienden a acortar las fibras. Esta resistencia se puede dar en dos direcciones: en forma paralela a las fibras o perpendicular a ellas.

Resistencia a la cizalladura o corte: Capacidad de la madera para resistir la acción de fuerzas paralelas y opuestas que tienden a producir deslizamientos de unas fibras con relación a otras.

Resistencia a la flexión: Es la capacidad de la madera para resistir cargas que tienden a flectarla, cuando se aplican en direcciones perpendiculares a las fibras. Si una viga es cargada, en ella se presentan esfuerzos de tensión, compresión y cizalladura. La medida de estos esfuerzos cuando la viga falla, se llama módulo de ruptura (MOR).



Para cualquier material y en esos se incluye la madera, la relación de esfuerzo a la deformación es constante y esto se manifiesta como una línea recta. Este comportamiento se mantiene hasta que ya no es constante y la recta pasa a ser curva. El punto de cambio se denomina límite proporcional. El material presenta este comportamiento en lo que se llama zona elástica. Por ejemplo si se dobla la carga, la deformación también se dobla. Pero si la fuerza se aplica más allá del límite proporcional, la deformación aumentara mucho más y la madera entrara en lo que se ha denominado zona plástica. En este caso el material permanece deformado y si el aumento de la carga es demasiado, se llegara a la rotura del material.

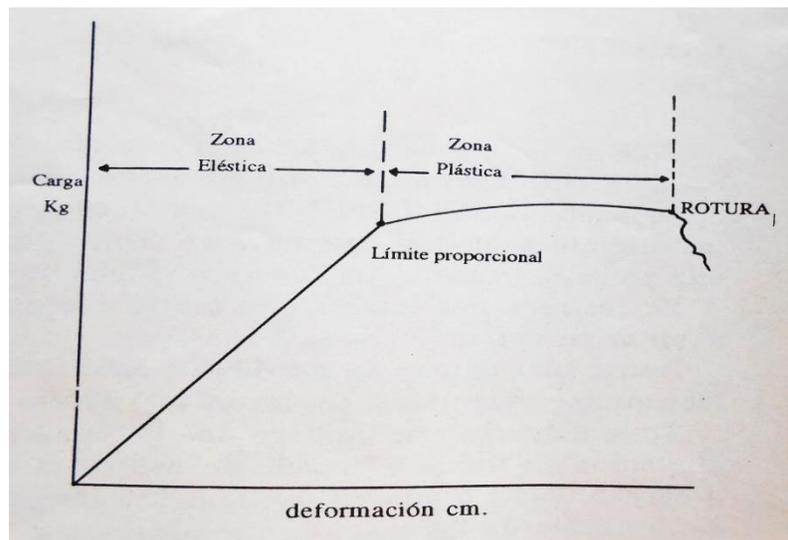


Figura 5. Diagrama típico Esfuerzo – Deformación
Fuente: (Cruz, 2010)

Un material que se mantenga en la zona elástica, volverá a su estado original una vez cese la fuerza que lo deforma.

Se puede entonces definir ELASTICIDAD como la propiedad de un material, de retornar a su forma original después de haber sido deformado por una fuerza.

4.5.6. Tipos de esfuerzo

Los esfuerzos pueden ocurrir solos o combinados.



Esfuerzo de tensión: Se presenta cuando la fuerza aplicada tiende a estirar o alargar el material. Se dice por lo tanto que el material esta en tensión.

Esfuerzo de compresión: Es lo opuesto al esfuerzo de tensión y ocurre cuando la carga aplicada tiende a acortar el material y por lo tanto a disminuir la longitud. Se dice entonces que el material esta en compresión.

Esfuerzo de cizalladura: Ocurre cuando las cargas o fuerzas, en este caso, opuestas y paralelas, tienden a separar una parte del material con respecto a la parte adyacente, causando un deslizante. También se le llama esfuerzo de corte.

4.5.7. Características naturales que afectan las propiedades mecánicas

Debido a las características de crecimiento natural de los árboles, los productos de madera varían en gravedad específica, puede contener fibras cruzadas o pueden tener nudos y fibras con pendientes localizadas.

Gravedad Específica: La sustancia de que se compone la madera es realmente más pesada que el agua; su gravedad específica es aproximadamente 1,5 independientemente de la especie de madera. A pesar de ello, madera seca de la mayoría de las especies flota en el agua, y por lo tanto es evidente que parte del volumen de un pedazo de madera está ocupada por cavidades de celdas y de poros. Las variaciones en el tamaño de estas aberturas y en el espesor de las paredes celulares causan algunas especies tienen más sustancia madera por unidad de volumen que otras especies y por lo tanto, mayor gravedad específica. Por lo tanto, la gravedad específica es un excelente índice de la cantidad de sustancia de madera está contenida en un pedazo de madera. (Ale, 2010).

Nudos: Un nudo es la parte de una rama que se ha incorporado en el cuerpo de un árbol. La influencia de un nudo en las propiedades mecánicas de un elemento de madera se debe a la



interrupción de la continuidad y un cambio en la dirección de las fibras de la madera asociados al nudo. La influencia de los nudos depende de su tamaño, de la ubicación, de la forma y de la solidez; dependiendo de la pendiente del grano; y del tipo de esfuerzo al que es sometido un elemento de madera. La forma de un nudo sobre una superficie aserrada depende de la dirección del corte expuesto. Los nudos se clasifican como de intercrecimiento o de encajonado (Figura 2). (Ale, 2010).

Las propiedades mecánicas son más bajas en las secciones que contienen los nudos que en secciones uniformes de fibra recta porque: (a) la madera uniforme es desplazada por el nudo, (b) las fibras alrededor el nudo están distorsionadas, resultando en fibras cruzadas, (c) la discontinuidad de la fibra de la madera conduce a concentraciones de esfuerzos, y (d) el control a menudo se produce alrededor de los nudos durante el secado.

En las columnas cortas o intermedias, la reducción en la resistencia causada por los nudos es aproximadamente proporcional a su tamaño; sin embargo, los grandes nudos tienen un efecto relativamente algo mayor que los pequeños nudos. (Ale, 2010).

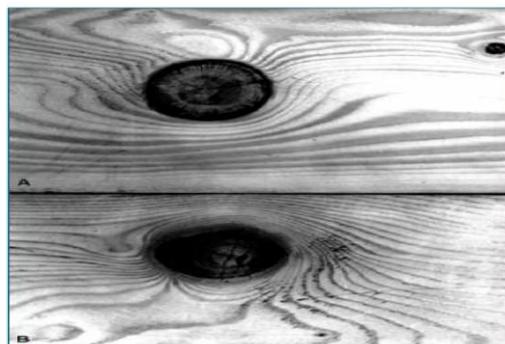


Figura 6. Tipos de nudos, A, Nudo de encajonado; B, Nudo de intercrecimiento
Fuente: (Bergman et al, 2010).

Pendiente de la Fibra: En algunas aplicaciones, las direcciones de los esfuerzos importantes pueden no coincidir con los ejes naturales de orientación de la fibra de la madera. Esto puede ocurrir por una elección de diseño, desde la manera como la madera



fue retirada extraída, o debido a irregularidades de la fibra que se produjeron mientras el árbol fue creciendo.

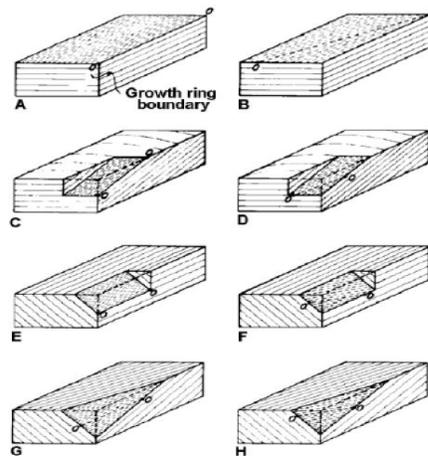


Figura 7. Pendiente y orientación de las fibras
Fuente: (Bergman et al, 2010).

La Figura 3 muestra la orientación de la fibra con respecto a los ejes en un espécimen de madera de fibra uniforme. Los especímenes desde A hasta D tienen superficies radiales y tangenciales; los especímenes desde E hasta H no. Los especímenes A y E no contienen fibras cruzadas; los especímenes B, D, F y H tienen fibras espirales; los especímenes C, D, G y H tienen fibras diagonales.

4.6. CLASIFICACIÓN DE LA MADERA POR RESISTENCIA

La clasificación por resistencia conduce a dividir una población de madera en clases, o grupos, de distinta calidad, sobre la base de un análisis individual de cada pieza estructural. Esta inspección, que puede ser visual o mecánica, tiene en cuenta el nivel de los parámetros considerados y, en función de los límites establecidos para los mismos, origina la asignación de cada elemento a una determinada clase resistente.

Existen actualmente en el mundo dos sistemas de clasificación por resistencia de madera aserrada para uso estructural, el visual y el mecánico.



4.6.1. Conceptos básicos sobre la resistencia de las maderas.

Toda madera sometida a una fuerza exterior, genera una fuerza interna que se opone a ella. Esto se denomina esfuerzo.

Se puede definir ESFUERZO como aquella fuerza interna que es capaz de resistir las diferentes fuerzas externas, las cuales tienden a cambiar la forma o tamaño de una pieza de madera. La fuerza resistente es igual a la fuerza deformante. Esto se expresa en Kgf/cm^2 . (Escobar & Ricardo, 1995).

En general, la madera se puede clasificar basada en el tipo, tamaño, número y localización de características que pueden disminuir su resistencia, durabilidad y utilidad en:

Madera Estructural: Requiere un proceso de análisis y diseño estructural; se clasifica atendiendo a sus propiedades mecánicas y uso de las piezas aserradas (Fernández, 1992).

Madera Comercial: Se clasifica en diferentes grupos teniendo en cuenta solamente su apariencia y características físicas, sin importar sus propiedades mecánicas; se utilizan en trabajos generales de construcción (Fernández, 1992).

Madera de Elaboración: Se usa en la carpintería y ebanistería para hacer puertas, marcos y otras piezas (Fernández, 1992).

4.7. PATOLOGÍA DE LA MADERA

La patología hace referencia a las enfermedades que puede sufrir una estructura, en éste caso de madera, la cual puede ser causada por diferentes agentes, tanto bióticos, como abióticos, e influyen directamente en las propiedades físicas y mecánicas de los elementos afectados. Para prevenir los ataques de los agentes patógenos a las estructuras es necesario seguir ciertas recomendaciones de protección, las cuales se describen a continuación.



4.7.1. Protección de la Madera

La protección de la madera tiene como objetivo mejorar sus prestaciones incrementando su vida útil o de servicio. Para ello se vale de dos tipos distintos de medidas que pueden resumirse del siguiente modo: protección no química (protección por diseños constructivo) y protección química.

Protección no química (protección por diseño constructivo).

La protección por diseño constructivo consiste en no utilizar sustancias químicas para la protección de la madera, sino en recurrir a las propiedades de la madera (en especial la durabilidad natural), para disminuir al máximo el efecto de agentes adversos a la madera (como humedad y condiciones climáticas) y en realizar una buena planeación y un adecuado diseño para la colocación arquitectónica ideal de cada elemento de madera a utilizar. Constituye un refuerzo adicional para la protección. Si la protección por diseño constructivo está bien diseñada y planeada, se puede reducir en gran proporción (quizás hasta en un 80%) el uso de la protección química (Zanni, 2004).

Protección química

Se usa principalmente en aquellas piezas de madera utilizadas en el exterior o que van a estar expuestas a condiciones climáticas adversas. Consiste en la aplicación de sustancias químicas para prolongar la vida útil de la madera al hacerla resistente al ataque de hongos, insectos, fuego y la intemperie, así como mejorar su estabilidad dimensional.

La protección química se utiliza para aquellas piezas que estarán sometidas a la acción de agentes deteriorantes como la humedad, el fuego y la intemperie; es decir, la madera que va a utilizarse para exteriores o la que estará expuesta a estos agentes. A pesar de que los compuestos de cromo disminuyen el efecto que causa la intemperie, toda la madera tratada debe ser pintada para protegerla de los efectos del sol. El intemperismo (efecto de la lluvia y del sol) modifica la estructura molecular de la madera a través de cambios químicos,



mecánicos, biológicos y lumínicos muy complejos, los que ocurren simultáneamente. En general en dos meses de exposición al sol, todas las maderas se tornan amarillentas o cafés y luego grisáceas. Las maderas más oscuras y con alta densidad sufren cambios más lentos que las maderas claras y de baja densidad (Zanni, 2004).

Protección de diseño constructivo.

Los objetivos principales de la protección por diseño constructivo son:

Impedir una alta concentración de humedad en las piezas de madera y reducir al mínimo los cambios de contenido de humedad en la madera.

Se deben proteger las piezas de madera de: Acumulación de agua, lluvia, agua capilar, aumento de humedad

Las medidas de protección por diseño constructivo se pueden dividir a su vez en dos tipos de medidas de actuación (Cruz, 2010):

- a) Medidas de actuación de carácter constructivo.
- b) Medidas de actuación complementarias de carácter estructural.

Medidas de actuación de carácter constructivo.

Vale la pena recordar que la humedad es el factor imprescindible para el desarrollo de hongos e insectos. Entre más logremos disminuir su efecto, menor será la presencia de estos agentes de deterioro, es decir, mayor será nuestra protección de la madera.

Es la medida de actuación más importante en la conservación de la madera en cualquier edificio que contenga madera (Cruz, 2010).



Medidas de actuación complementarias de carácter estructural.

a) Realización de un buen cálculo estructural.

El realizar un adecuado cálculo estructural considerando la mayor cantidad posible de variables disminuirla considerablemente el deterioro de la madera.

No realizar el cálculo estructural de madera instalada o por instalarse, sería no completar la protección por diseño constructivo de un edificio. Un mal cálculo estructural afectaría la resistencia mecánica de las piezas a colocarse y traería como consecuencia su ruptura y por ende la estabilidad del edificio ocasionando grietas y desacomodo de tejas. (Cruz, 2010).

b) Otras medidas de carácter estructural son la sustitución, el refuerzo, y la consolidación.

Sustitución: Debe suceder cuando la madera está tan deteriorada ($> 50\%$) que ya no puede recuperarse. No vale la pena ni técnica ni económicamente aplicar medidas de refuerzo o de consolidación. La sustitución debe realizarse por otra pieza de madera de la misma especie y con características anatómicas similares (como el ancho de anillos de crecimiento, la dirección del hilo y los nudos). Debe estar tratada preferentemente por métodos de presión y vacío, o mínimo por inmersión prolongada. (Cruz, 2010).

Refuerzo: Lleva como finalidad aumentar la capacidad portante y la resistencia de una estructura o elemento estructural de madera. Puede ser a través de otros elementos tales como metálicos, de madera o de concreto. Los casos de las figuras son casos de refuerzo adicional para disminuir la deformación de la pieza de madera. Los refuerzos no actúan directamente de la madera, como si lo hacen las consolidaciones.

Consolidación: Tiene como objetivo actuar en la madera con el fin de igualar o mejorar las propiedades de resistencia mecánica que tenía originalmente. Se utiliza en las zonas dañadas de la pieza de madera. Existen las siguientes formas de consolidar la madera



deteriorada: con concreto, mixta concreto- madera, Con elementos metálicos, Con elementos de madera o Con formulaciones epóxicas.

Actualmente, por desconocimiento de las propiedades de la madera, en muchos lugares acostumbran colocar piezas nuevas sin tratar, cubren las cabezas con la mezcla común de cemento y arena y resanan con yeso los huecos o puntas podridas. Esto provoca que se acelere el deterioro de la cabeza de la viga, ya que se impide su ventilación y al absorber humedad se pudrirá más rápidamente (Cruz, 2010).

Protección química: Vale la pena recordar que la protección química es un complemento de la protección por diseño constructivo y se debe utilizar cuando se haya agotado todas sus posibles formas de protección, a través de la durabilidad natural de la madera o del carácter constructivo o estructural de la misma.

Sustancias preservantes: Existe una gama de productos químicos para proteger a la madera. Es tan abundante y variada que el usuario puede confundirse y aplicar la que no es adecuada. Es por esa razón que es muy importante conocerlas aunque sea de madera general.

En una sustancia para proteger a la madera, lo que se debe tener en cuenta es su principio activo y si es insecticida, fungicida o ambos.

Debido a esta gama de variedad, existen varias formas de clasificación, según la función que vayan a desarrollar o las características del producto. Entre estas formas de clasificación, podemos mencionar las siguientes: Por su utilización, Por su naturaleza química, Por su forma de presentación y actuación y Por la categoría de riesgo.



4.7.2. Métodos de conservación y preservación de la madera

Existen varios métodos de tratamiento, tanto para madera húmeda como para madera seca. Solo trataremos con fines de madera seca.

Existe una gran cantidad de métodos de tratamiento de la madera seca con el fin de prolongar su vida útil. Sin embargo, algunos son más efectivos que otros. Estos métodos se pueden dividir según su grado de penetración, en tratamientos superficiales y tratamientos a profundidad (ver cuadro). Los tratamientos superficiales son aquellos que permiten alcanzar penetraciones máximas del protector en la madera de 3 mm de profundidad. Los tratamientos a profundidad alcanzan penetraciones mayores a 3 mm y pueden ser totales o parciales, según el método o la especie. El tipo de sustancia y el tipo (especie) de madera juegan un papel importante para alcanzar una determinada profundidad de la sustancia dentro de la madera (Cruz, 2010).

Tabla 2. Resumen de los métodos de tratamiento para las maderas
Fuente: (Cruz, 2010)

por su penetración				por su proceso		
superficiales		profundos		con presión	sin presión	
pincelado o brocha		sin autoclave	con autoclave		rupping	pincelado o brocha
					lowry	
					alternativo	
					oscilante	
pulverizado o de aspersion		inmersión prolongada	con presión	sin presión	pulverizado o de aspersion	
			rupping			
			lowry			
			alternativo			
			oscilante			
sin presión	con presión					
aspersor manual	aspersor eléctrico					
inmersión breve		baño caliente y frio				
inyección		inyección				



A continuación se describe cada uno de los métodos sin presión y al final se explica con detalle el método de presión denominado Bethell o de célula llena, ya que es uno de los métodos más utilizados y logra elevados grados de penetración y retención de la sustancia protectora de la madera.

Pincelado y brocha.

Tratamiento en que el protector se aplica con pincel, brocha o rodillo. Se utilizan mayormente los protectores en disolvente orgánico por su mayor grado de penetración y menor deslave.

Se aplica dándose tres manos del protector y dejándose secar entre ellas. Se pueden alcanzar unos grados de absorción sólida del protector entre 150 a 250 gr/m².

Se crea una delgada capa tóxica superficial (en maderas poco permeables penetra hasta 1mm y en maderas más permeables penetra a 2 a 3 mm) por lo que la protección de la madera es baja. La madera debe estar seca (< 18%) limpia y libre de recubrimientos superficiales.

El método más simple de aplicación de un preservante es el de brocha y se usa normalmente para maderas de pequeñas dimensiones y también cuando se requiere tratar maderas ya instaladas en un edificio (Cruz, 2010).

Pulverizado o aspersión.

Este método puede ser aplicado también con presión y sin presión. Con presión se puede utilizar un compresor eléctrico y sin presión un aspersor manual. El compresor eléctrico se recomienda para aquellas sustancias inodoras y no tan tóxicas como las sales del boro. Para otro tipo de sustancias más tóxicas puede ser peligroso para persona que lo aplica ya que forma una nube con partículas muy finas que son aspiradas rápidamente por la boca y afectan garganta y ojos. (Cruz, 2010).



Inyección sin presión.

Se utiliza para impregnar vigas de madera o bienes muebles. Se hacen perforaciones a la madera con una broca fina (2 a 3 mm de diámetro). La perforación debe ser lo más inclinada posible del techo hacia abajo de la viga. Posteriormente se introduce la jeringa y se inyecta el líquido. Se recomienda utilizar jeringas con la mayor capacidad posible.

En bienes muebles se aprovechan las perforaciones realizadas por los insectos para introducir la jeringa e inyectar la sustancia (Cruz, 2010).

Inyección con presión.

Consiste en perforar la madera, insertarle y dejar dentro unas válvulas de plástico que permiten la inyección de la sustancia. Se usa una presión aproximada a las 4 Kg/cm². El problema de este método es que la sustancia penetra a profundidad pero en forma parcial, no total. Se usa para madera escuadrada > a 50 mm y en madera en rollo con diámetros > a 100 mm. Los taladros se aplican a tresbolillo o alineados en la cara de la viga de madera, no deben ser más de tres por metro lineal y con una profundidad no mayor a la del espesor de la pieza. Se recomienda dos tipos de válvulas de 6 mm para escuadrías < a 100 * 100 mm o con grueso entre 50 y 200 mm y 9 mm para aquellas > a 100 * 100 mm y con un grueso > a 200mm (Cruz, 2010).

Inmersión breve.

Es un método que se utiliza frecuentemente en aserraderos para proteger principalmente tablas y tablones contra el manchado (hongos) de la madera. Es un protección muy superficial y sin garantía. Para madera estructural no debería utilizarse porque no penetra ni siquiera 1 mm.

El tiempo de inmersión va de los 10 segundos a un máximo de 10 minutos, dependiendo de la especie, de las dimensiones de las piezas y del tipo de preservantes. Para maderas con



contenidos de humedad < a 18% se usan disolventes acuosos u orgánicos y para contenidos de humedad > a 28% productos hidrosolubles o hidrodispersables (Cruz, 2010).

Inmersión prolongada.

El tiempo de inmersión de la madera en la sustancia protectora va de 10 minutos a varias semanas. Según el uso al que este destinada, su tipo, las dimensiones de la pieza, el contenido de humedad y la sustancia a usar. Pudiera utilizarse para madera estructural (vigas, columnas, gualdras o polines) pero con un tiempo mínimo de inmersión de 48 horas. Dependiendo de la densidad, permeabilidad e impregnabilidad de la madera, la sustancia penetrará de 3 a 5 mm, máximo de 10 mm, por lo que se consigne una protección media (Cruz, 2010).

Baño caliente-frío.

Es prácticamente una inmersión caliente- fría. Las piezas se sumergen primero en el preservante caliente, lo que ocasiona la salida del aire del interior de la madera, además de un distanciamiento de sus moléculas, posteriormente se sumerge la pieza de madera en el preservante frío(a temperatura ambiente). (Cruz, 2010).

Método de presión y vacío (método Bethell).

Es el más adecuado para proteger la madera que se va a utilizar en clases de riesgos 4 y 5. Es un método que se utiliza antes de darle uso a la madera, es el más efectivo, practico, económico y rápido. Es efectivo porque logra que la sustancia penetre e impregne la albura al 100%, además se pueden controlar las variables de impregnación como la absorción, la retención y la penetración.

Existen varios métodos de presión y vacío. Los más comunes son el método de célula llena (Bethell) y los métodos de célula vacía (Lowry, Ruppig). Proceso de impregnación en el método de presión y vacío por célula llena (proceso Bethell):



Secado, limpieza, preparación de la solución, vacío inicial, llenado, Presión, Vacío final y penetración. (Cruz, 2010).

Evaluación del grado de daño de los elementos mediante el empleo del resistógrafo.

Técnicas de resistencia a la penetración resultan más claras en la mayoría de estructuras de madera. El equipo comúnmente utilizado es el resistógrafo, que consiste en un taladro mecánico que realiza una perforación de 2 a 3 mm de diámetro en la dirección radial de la sección de la pieza, evaluando la resistencia que ofrece la madera a la perforación según el taladro avanza en la perforación de la sección de la pieza. El equipo facilita un perfil gráfico de la sección a tiempo real, detectándose la resistencia que muestra la madera debido a diferencias de densidad, como por ejemplo la madera de verano y primavera. Cuando existen pudriciones u oquedades en la madera, la resistencia a la perforación es mucho más baja, por lo que se puede detectar la ubicación del año en la sección de la pieza. El resistógrafo permite la evaluación de la presencia de pudriciones en zonas de difícil acceso para el empleo de otras técnicas no destructivas, así como la localización de daños internos no apreciados en la evaluación visual (Rehabend, 2013).

4.7.3. Clases de riesgo

Las clases de riesgo son un concepto definido por las normas para intentar valorar el riesgo de ataque de agentes xilófagos, en función del lugar donde va a instalarse la madera. De acuerdo a la clase de riesgo en que se encuadra cada caso, y considerando las medidas constructivas a adoptar y la especie forestal de que se trate, podrá elegirse el tratamiento químico adecuado a aplicar; las variables consideradas para la clasificación son el grado de humedad a que estará expuesta la madera durante su vida de servicio, el contacto con aguas dulces o saladas, su grado de exposición a la intemperie, etc. De acuerdo a ellas, se distribuyen en cinco categorías (Arriaga et al, 2002).



Clase de riesgo 1.

Incluye los elementos que están bajo cubierta, completamente protegidos de la intemperie y no expuestos a la humedad. Los contenidos de humedad alcanzados por la madera durante su vida de servicio serán siempre inferiores al 18%.

Si bien no hay riesgo de ataque por hongos, si lo hay por parte de insectos xilófagos (ocasionalmente puede ser atacada por terminas, parques, entarimados, vigas, revestimientos de madera, etc. (Zanni, 2004).

Clase de riesgo 2.

Incluye los elementos que están bajo cubierta, completamente protegidos de la intemperie pero en la que se puede dar ocasionalmente una humedad ambiente elevada que puede producir humectación superficial transitoria pero no permanente. Los contenidos de humedad alcanzados por la madera durante su vida de servicio serán siempre inferiores al 18 o 20%. Ocasionalmente puede existir riesgo de ataque de mohos y otros hongos cromógenos, en tanto que por parte de los insectos xilófagos, es similar a la clase 1. Son ejemplos típicos de éste grupo, los elementos de madera colocados cerca de desagües o instalaciones sanitarias, estructuras de piletas cubiertas, etc. (Zanni, 2004).

Clase de riesgo 3.

La pieza está al descubierto pero no en contacto con el suelo, lo que ocasiona que sufra humidificación frecuente, los contenidos de humedad alcanzados por la madera durante su vida de servicio serán superiores al 20% con alternancias rápidas de sus valores, al existir períodos de humectación y sequedad. El riesgo de ataque de hongos xilófagos cromógenos y de pudrición es más marcado que en la clase 2. Con respecto a los insectos, el riesgo es similar a la clase 1. Dentro de éste grupo se ubican elementos de carpintería exterior (Zanni, 2004).



Clase de riesgo 4.

El elemento está en contacto con el suelo o con agua dulce y expuesto a humidificación permanente. Los contenidos de humedad alcanzados por la madera serán superiores al 20% durante largos períodos de tiempo. Tiene un riesgo permanente de pudrición y de ataque de termitas. Los ejemplos típicos de madera de esta clase son los postes, pilares, cercas, pilotes, embarcaderos de río, etc. (Zanni, 2004).

Clase de riesgo 5.

El elemento está en contacto permanente con agua salada. Los contenidos de humedad alcanzados por la madera serán permanentemente superiores al 20% durante toda su vida de servicio. Además de los riesgos de ataque de la clase 4, se añade el de los xilófagos marinos. El ejemplo habitual lo constituyen los muelles y embarcaderos marítimos. (Fritz, 2010).

El empleo de una madera en un uso determinado depende principalmente de sus propiedades físicas, mecánicas y de carácter estético, apreciadas o determinadas éstas sobre madera sana. *Es necesario sin embargo, considerar que estas propiedades son modificadas en mayor o menor escala cuando la madera sufre alteraciones a lo largo del tiempo* (Zanni, 2004).



Figura 8. Degradación de la madera
Fuente: (Centro de transferencia tecnológica de la madera, 2007).



4.7.4. Causas biológicas

Para que los agentes biológicos se desarrollen y subsistan se requiere que existan ciertas condiciones como son: fuente de material alimenticio para su nutrición y temperatura para su desarrollo; El intervalo de temperatura es de 3° a 50°, siendo el óptimo alrededor de los 37 °C; la humedad debe estar entre el 20 % y el 140 %, para que la madera pueda ser susceptible de ataques de hongos. Por debajo del 20 %, el hongo no puede desarrollarse y por sobre 140 % de humedad, no hay suficiente oxígeno para que pueda vivir. (Fritz, 2010).

Hongos.

Los hongos que atacan la madera son organismos parásitos de origen vegetal que se alimentan de las células que la componen desintegrándola. Se producen sobre la madera húmeda bajo ciertas condiciones de temperatura, por esporas traídas a través del aire o por el contacto directo con otros hongos. La protección de la madera debe comenzar, por lo tanto, desde que se corta. Las maderas con baja durabilidad natural y la madera de albura de todas las especies deben tratarse con sustancias preservantes (NSR-10, 2010).

Hongos cromógenos.

Se caracterizan por alimentarse de las células vivas de la madera. El efecto importante que producen es un cambio de coloración, la madera toma un color azulado, pero en general no afecta a su resistencia, dado que no altera la pared celular (Fritz, 2010).



Figura 9. Ataque por hongos en piezas machihembradas de pino Radiata
Fuente (Fritz, 2010)



Según lo expuesto, una madera azulada no debería depreciarse más que por su aspecto, pero la realidad es que el hecho de presentar dicha coloración, es signo de que la madera ha estado expuesta a condiciones favorables para el desarrollo de hongos de pudrición, y si bien todavía no es visible su ataque, probablemente éste se ha producido en alguna medida.

Hongos de pudrición.

En este caso los hongos se alimentan de la pared celular, causando una severa pérdida de resistencia, impidiendo cualquier tipo de aplicación, ya que la madera puede desintegrarse por la simple presión de los dedos. En un ataque de pudrición se suelen desarrollar muchos tipos de hongos, cada uno de los cuales actúa en un determinado intervalo de degradación, dependiendo si el hongo se alimentó de la lignina o de la celulosa (Fritz, 2010).

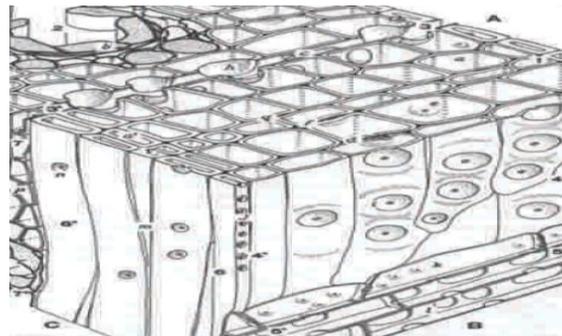


Figura 10. Anatomía de una especie Conífera con hongos
Fuente: (Fritz, 2010)

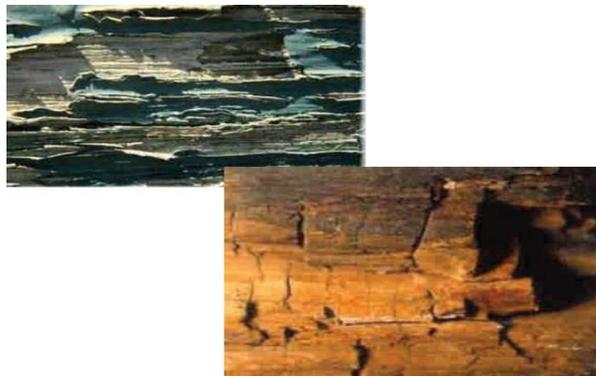


Figura 11. Pieza de madera atacada por Hongo de Pudrición
Fuente: (Fritz, 2010)



La pudrición blanca es causada por hongos que se alimentan de la lignina, dejando la celulosa de color blanco. En este caso la madera se rompe en fibras, por lo que también se denomina pudrición fibrosa.

La pudrición parda es causada por hongos que se alimentan de la celulosa dejando la lignina, caracterizada por su color pardo. La madera se desgrana en cubos, por lo que también se le conoce como pudrición cúbica.

Mohos.

Son hongos que tienen una apariencia de algodón fino. La extensión de estos depende fundamentalmente de la temperatura y de una humedad abundante. Afectan a la madera en su aspecto superficial y se pueden eliminar cepillando la pieza, no causan daños a la resistencia ni a otras propiedades. Si no se eliminan oportunamente puede que la pieza de madera sea fácilmente atacada por hongos de pudrición, ya que el crecimiento de mohos estimula su desarrollo.



Figura 12. Pieza de madera atacada por Moho
Fuente: (Fritz, 2010)

Insectos.

La madera puede ser atacada, especialmente en climas húmedos y cálidos, por insectos que perforan su estructura en busca de nutrientes. Entre estos insectos están las termitas subterráneas, los gorgojos y los comejenes (termitas) (NSR-10 b, 2010).



Existe una gran cantidad de insectos que usan la madera para reproducirse y vivir y se alimentan de la celulosa que ésta contiene. El daño se produce debido a que sus larvas, orugas y adultos abren galerías en la madera para obtener alimento y protección. Dentro de estos insectos figuran los siguientes:

Coleópteros.

Los coleópteros xilófagos pueden ser agrupados en tres categorías:

Insectos que requieren un contenido de humedad en la madera mayor al 20%, siendo la familia más importante los Cerambícidos, cuyas larvas se alimentan de almidón, azúcares y sustancias albuminoideas de la madera (Fritz, 2010).

Insectos que atacan maderas parcialmente secas (menos del 18 % de humedad), siendo la albura habitualmente la zona afectada. A este grupo pertenecen los Lícidos, que se caracterizan porque las larvas se alimentan del almidón contenido en la pared celular, para lo cual practican galerías de alrededor de 1 mm de diámetro, destruyendo la madera y dejando tras de sí un aserrín muy fino. No atacan a las coníferas, solamente a las latifoliadas (Fritz, 2010).

Insectos que atacan a las maderas secas, tanto coníferas como latifoliadas, y que pertenecen a la familia de los Anóbidos, comúnmente llamados Carcoma, que se alimentan a expensas de la celulosa y lignina. (Dokesim, 2003).

Termitas o Comejenes.

Son los ataques de estos insectos los que pueden causar mayores daños a la estructura de madera de una vivienda. Son capaces de introducirse entre los cimientos, sobre cimientos, radiantes y muros de las edificaciones taladrando el hormigón, aprovechando las grietas, las cañerías y ductos que atraviesan estas estructuras o practicando galerías exteriores a base de una argamasa extraordinariamente dura (Fritz, 2010).



Figura 13. Termitas deteriorando pieza de madera
Fuente: (Ecoespacio, 2010).

4.7.5. Causas abióticas

Degradación por la luz.

El espectro ultravioleta de la luz descompone la celulosa de la madera produciendo su degradación. La acción de la luz es lenta y a medida que transcurre el tiempo la degradación no aumenta, dado que los primeros milímetros afectados sirven de protección al resto. Así, los efectos de la luz se hacen visibles entre el primer y el séptimo año y la madera cambia de color, oscureciéndose o aclarándose, según el grado de exposición en que se encuentre. La degradación afecta los primeros milímetros de la madera, con mayor intensidad las zonas de primavera que las de otoño, y más la albura que el duramen.

La degradación por la luz es más rápida si se combina con el deslavado que puede producir la lluvia, que arrastra la celulosa descompuesta de la superficie, produciendo la degradación denominada “madera meteorizada”.

El espectro infrarrojo afecta en la medida que calienta la madera, aumentando su incidencia cuanto mayor sea su exposición al sol y más oscura sea. Este calor puede producir secado y con ello merma de la madera, y por ende, agrietamientos en dirección de las vetas por las cuales penetra la humedad, favoreciendo la invasión de los hongos xilófagos (Fritz, 2010).



Humedad Atmosférica.

Por ser higroscópica y porosa, la madera absorbe agua en forma líquida o de vapor. Si la humedad se acumula en la madera afecta sus propiedades mecánicas, se convierte en conductora de electricidad y sobre todo, queda propensa a la putrefacción y al ataque de hongos. La madera puede humedecerse por acción capilar, por lluvia o por condensación (NSR-10 c, 2010).

La humedad atmosférica produce deterioro por los repetidos cambios de dimensiones que se producen en las capas superficiales de las piezas que se encuentran a la intemperie. En todo caso, la penetración de agua por las razones expuestas es relativamente lenta y no se producen cambios en el contenido de humedad o en el volumen de la pieza, siempre que no haya una condición especial, en que el estado de humedad o sequedad se exceda de lo normal. Se puede concluir que el daño esperado se concentra en las capas externas de la madera, ya que se producen tensiones alternas de compresión y dilatación que se traducen en una desintegración mecánica de las capas superficiales.

Fuego.

Es uno de los agentes destructores que ningún material puede tolerar indefinidamente sin presentar algún deterioro (Fritz, 2010).

La reacción al fuego de las maderas depende del espesor de la pieza de madera, contenido de agua de la madera, y densidad de la madera (especie).

4.7.6. Comportamiento de la madera frente al fuego

Para el diseño debe tenerse en cuenta que la madera es un elemento combustible que se inflama a una temperatura aproximada de 270°C, aunque algunas sustancias impregnantes o de recubrimiento pueden acelerar o retardar el proceso (NSR-10 d, 2010).



La madera está formada fundamentalmente por celulosa (aproximadamente un 44%) y lignina, materiales ricos en carbono, admitiéndose que la madera contiene aproximadamente un 48 % de carbono.

Por debajo de 100°C, casi no se escapa de la madera más que el vapor de agua, incluso si la temperatura externa es superior a 100°C, la de la madera queda igual a 100°C si el agua no se ha desprendido del todo (Fritz, 2010).

De 100°C a 275°C se desprenden gases: CO₂ incombustible, CO combustible y piroleñosos. Hacia los 275°C la reacción es exotérmica. Los gases se desprenden en abundancia, la proporción de CO₂ disminuye rápidamente y aparecen los hidrocarburos. La madera adquiere un color achocolatado. Por encima de los 350°C los desprendimientos gaseosos son menos abundantes, pero son todos combustibles. Más allá de los 450°C el hidrógeno y los carburos constituyen la mayor parte de los gases desprendidos, siendo el residuo sólido carbón de madera, susceptible de quemarse con desprendimiento de gases combustibles.

La temperatura de la madera en el curso de su combustión está comprendida entre los 400°C y 500°C aproximadamente. Esta temperatura es la mínima necesaria para continuar la combustión, por supuesto si existe suficiente oxígeno (Fritz, 2010).

Por otro lado, se ha encontrado que en edificaciones realizadas con el sistema constructivo de poste y viga, las vigas de grandes secciones transversales atacadas por el fuego sólo han comprometido una superficie carbonizada de pequeño espesor, que cubre y protege la madera no afectada por el fuego, esto debido a la baja conductibilidad térmica de la madera, que transmite una pequeña proporción del calor hacia el interior de ella.

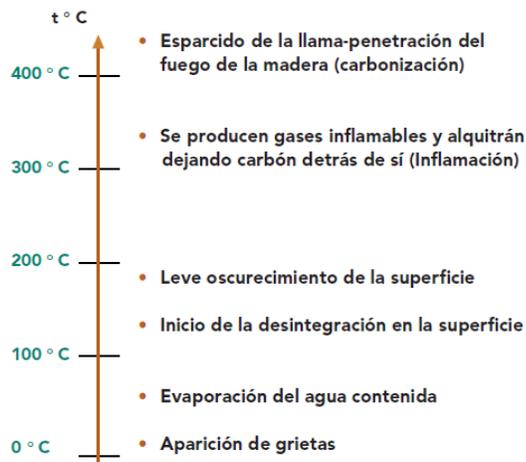


Figura 14. Comportamiento de la madera frente a la acción del fuego
Fuente: (Fritz, 2010).

4.7.7. Inspección de los elementos y diagnóstico de la patología

Al enfrentarse a un caso de estructuras enfermas, es importante seguir un protocolo de inspección que garantice que las decisiones tomadas en la fase de rehabilitación, sean las correctas, dicho protocolo de inspección consta de los siguientes pasos:

Se debe conseguir toda la información posible acerca del edificio: edad e historia del mismo, extensión e importancia del ataque, tipo de construcción, planos generales, de estructuras y de ser posible, de instalaciones, etc. Es importante en esta instancia definir el alcance de la inspección solicitada y los límites de la misma (permisos para realizar cateos, con las roturas consecuentes).

La segunda etapa consiste en una inspección visual minuciosa con objeto de percibir aperturas de salidas de insectos, o alteraciones de color o textura producidas por los hongos. Así mismo, se deben relevar las grietas, desplomes y desescuadramientos producidos en la estructura de madera, como también la presencia de humedades, intentando localizar catas de inspección. El equipo a utilizar debe contener lupa para observación de muestras y especies, espejo de mano para reflejar partes ocultas, linterna, fonendoscopio y vaso plástico para auscultar la madera en busca de insectos vivos, cinta



métrica, maza pequeña o martillo para percutir la madera (cuando el golpe es “sordo” obedece generalmente a una extensa red de galerías). Cepillo y brocha para limpiar y recoger aserrín, prismáticos para observar sitios inaccesibles, termohigrómetro de contacto y ambiental, brújula, escalera de mano, etc. Éste tipo de inspección es no destructiva.

La tercera etapa abarca los cateos mencionados. Para ello es necesario el siguiente equipo, que complementa al anterior: punzón para calar a fin de verificar la profundidad del daño, cuchillo o navaja para astillar la madera y trocearla, tenazas, alicates y espátula, pinzas de naturista para recolección de muestras, juego de clavos para volver a fijar la madera removida, taladro o barrena para perforar piezas de grandes dimensiones, sacamuestras (barrena de pressler), juego de bolsas, frascos y etiquetas para guardado de muestras obtenidas, insecticida para atrapar insectos voladores, etc. Es importante recoger tres muestras de la madera afectada (de 100 a 200 c.c. cada una), a fin de guardar como testigo, y someter a ensayos de laboratorio a las otras.

Puede existir (y conviene que así sea) una cuarta etapa que abarca los estudios y ensayos de laboratorio sobre las muestras obtenidas.

A efectos de poder diagnosticar con precisión debe tenerse en cuenta que la degradación observada a simple visa requiera de un estudio más profundo tanto insitu como en laboratorio, para en base a los resultados obtenidos, dictaminar sobre el estado de conservación de la estructura así como sobre las medidas por adoptar para sanearla, llegándose finalmente a una propuesta de intervención.

Los métodos que se utilizan para la inspección y estudio, pueden clasificarse en dos grandes grupos:

No destructivos: se llevan a cabo in situ, y consisten en pruebas de carga, mediante el uso de extensómetros, flexímetros, etc. Cualquier alteración de la madera tal como presencia de galerías y otra, supone una diferencia de absorción de radiaciones o variación de velocidad de las mismas, que las pone inmediatamente de manifiesto.



Destructivos: se dividen en:

Los practicados in situ destinados a toma de muestras usando para ello barrena hueca rotativa y con corona de diamante (pressler, pixi, atlas copco).

Ensayos destructivos realizados en laboratorio, que incluyen los siguientes estudios: densidad aparente y real, porosidad y grado de humedad, resistencia mecánica a compresión, flexión y tracción, coeficiente de dilatación térmica, módulo de elasticidad (esto es muy importante cuando se van a ejecutar consolidaciones o refierzos mediante el uso de resinas, para adecuar y ajustar el módulo de las mismas, al de la madera existente).

A fin de poder luego dar comienzo a la intervención de rehabilitación de una estructura de madera, es necesario conocer primero el elemento tal como se encuentra previamente, sus características intrínsecas y el estado en que está al momento del diagnóstico.

Esta diagnosis debe proporcionar toda la información necesaria que posibilite la toma de decisiones por parte del proyectista. De este modo, se requiere identificar la especie forestal aludida, su resistencia mecánica, grado de conservación, agentes degradadores presentes en el edificio y condiciones que favorezcan su desarrollo, etc.

Basado en esta información, el proyectista podrá:

Planificar las medidas correctoras de tipo constructivo tendientes a eliminar o erradicar los agentes de deterioro actuantes, disminuyendo así el riesgo de futuros ataques a la estructura en cuestión.

Decidir el tipo de actuación a aplicar según el destino previsto para el edificio y el estado actual de la estructura. Las opciones son: mantenimiento, sustitución, consolidación o refuerzo.

Elegir el tratamiento de protección que paralice los ataques existentes e inhiba el inicio e otros en el futuro.



4.8. SEGURIDAD INDUSTRIAL EN OBRAS ESTRUCTURALES DE MADERA

La seguridad que debe existir en la construcción de una obra, varía de acuerdo al tipo de obra que se esté realizando, sin embargo desde todo punto de vista, se deben controlar aspectos como la higiene y la protección.

En lo que se refiere a la seguridad en la construcción, y dependiendo el tipo de obra, se debe tener en cuenta el cuidado y la seguridad de la parte obrera. A continuación se tiene una descripción de la indumentaria que se debe tener en cuenta en la ejecución de restauraciones, construcciones en madera e incluso inspección de los elementos estructurales si se va a estar expuesto a alturas considerables.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que las estructuras de madera, al igual que otros materiales, es susceptible a eventos no previstos como los incendios, por tal motivo, hay que tener claras las medidas preventivas y de acción necesaria en caso de presentarse dicho evento. (USC, 2008)

4.8.1. Protección para trabajo en alturas.

El uso del arnés de seguridad será obligatorio durante el ascenso y descenso de postes, torres, árboles, montajes estructurales, obras civiles y en general toda actividad en que sea necesario estar elevada a más de 1,5 mts de altura.

Los cinturones deberán estar confeccionados en material de primera calidad y contruidos en trozos de una sola pieza al igual que las bandas de enganche, por lo tanto, no se permitirán empalmes.

El arnés debe revisarse periódicamente en busca de cortaduras o desgastes suficientes para debilitar el material, costuras rotas, remaches, hebillas o ganchos gastados, ganchos con muelles flojos o débiles y hebillas con ganchos sueltos. Los que en caso de ser hallados



imponen el cambio inmediato del equipo.

Se exigirá equipos adicionales de seguridad en los montajes de alto riesgo en los que sean necesarios (utilizar arneses de seis puntos, línea de vida, doble cola de amarre, etc.) (USC, 2008)

4.8.2. Protección visual y facial.

Se deberá utilizar una protección visual apropiada cuando se estén realizando o se esté cerca al sitio donde se lleven a cabo operaciones en las que exista posibilidad de que se presenten lesiones en los ojos, como las siguientes:

Astillamiento, pulimento, perforación por impacto o rompimiento de concreto; taladros, herramientas hidráulicas; soldadura, calentamiento o corte; máquinas de ventilación o equipos con aire comprimido; instalación o retiro de conexiones a tierra de cables o alambres desenergizados; hacer o interrumpir un circuito energizado que pueda ocasionar un destello eléctrico; limpieza de o trabajos con material oxidado o el trabajo o manipulación de materiales que estén sujetos a formación de incrustaciones o a descaracharse; cortar, picar o romper ladrillo, yeso, cable, bandas o materiales aislantes, madera y metales; manejo o utilización de metales calientes u otros compuestos calientes; manejo o utilización de ácidos, sustancias cáusticas o solventes y otros químicos; Perforar, lijar, pulir o astillar en sitios altos; cualquier otra área en la cual pueda haber polvo, partículas o residuos flotantes (riesgo biológico).

Según el caso se deberá utilizar equipo de protección visual resistente a impacto (gafas de seguridad, monogafas con protección superior y lateral, caretas de acetato, caretas para soldadura eléctrica y monogafas para soldadura autógena, máscara o careta).

Se considera que los lentes de contacto no son reemplazo de la protección visual aprobada y no deben ser utilizados con respiradores completos. Se deberá utilizar protección visual aprobada con los lentes de contacto. En caso que exista el riesgo de salpicadura química o



contacto de vapores químicos con la cara o los ojos, no se debe utilizar lentes de contacto (USC, 2008).

4.8.3. Protección para la cabeza.

Todos los trabajadores expuestos que presenten lesiones a la cabeza producidos por impactos, partículas volantes, salpicaduras de sustancias químicas, riesgos eléctricos, calor radiante o efectos de las llamas, deberán utilizar implementos de protección para la cabeza.

Ejemplos de las situaciones de riesgo son las siguientes:

Trabajar en, debajo de, o cerca de postes, torres, estructuras, escaleras, mecanismos aéreos o árboles; cavar agujeros, zanjas o despejar derechos de paso; manejo de diferencial, malacates; trabajar en áreas en las cuales el contratista, constructor, propietario o gerente exija a sus empleados el uso de protección para la cabeza; cuando se ingrese a un área en la cual se debe utilizar casco (USC, 2008).

4.8.4. Prevención y control de incendios

Para que pueda ser efectivo un programa de prevención y control de riesgos de incendio debe contar con la comprensión y cooperación de todos los trabajadores. Un buen programa de prevención de incendios requiere de un entrenamiento continuo en los procedimientos de trabajo, inspecciones regulares del sector de trabajo y una estrecha supervisión de los procedimientos de trabajo del personal.

En todas las instalaciones existen equipos contra incendio como son los extintores y éste depende de la carga combustible existente en el lugar, y se tendrá un plan de inspección y mantenimiento periódico de estos equipos. Todo vehículo automotor donde se transporte personal, materiales o equipos de la USC deben disponer de extintores de acuerdo a las exigencias de las autoridades de tránsito y a la carga combustible que transporta.



Todo funcionario deberá recibir capacitación y entrenamiento básico sobre prevención y control de los riesgos de incendio inherentes a su actividad o a la labor que realiza, será responsabilidad de los jefes inmediatos coordinar la realización a través del Área de Salud Ocupacional (USC, 2008).

Definición del fuego

Para establecer medidas de prevención antes que de control, se debe entender el proceso de la combustión y para esto es necesario conocer la definición más elemental del fuego. El fuego es un proceso de combustión suficientemente intenso como para emitir luz y calor (USC, 2008).

Elementos del fuego

Hay tres factores que son esenciales para alimentar y conservar el fuego: un combustible (material que puede ser oxidado) aire (oxígeno o agente oxidante) y temperatura (calor) a nivel suficientemente alto. Durante varios años estos tres elementos fueron combinados para formar una trilogía y fueron representados como un triángulo equilátero simple, cuyo cierre constituía las condiciones favorables para que existiera fuego.

Los estudiosos del tema descubrieron la existencia de un cuarto factor al cual denominaron la reacción en cadena, tanto ramificada como sin ramificar que lo llaman “sangre de la vida del fuego”, el fuego necesita aire, combustible, temperatura de llama adecuada y sistema de reacciones en cadena sin impedimentos. Estas reacciones se representan en forma de un tetraedro, la razón para representarlo con éste y no con un cuadrado es que cada uno de los cuatro elementos estén directamente adyacentes y en conexión con cada uno de los otros tres elementos. El retirar uno o más de los cuatro elementos del tetraedro hará que esté incompleto y por consiguiente el fuego se extinguirá (USC, 2008).



Clases de fuego

Se han agrupado las distintas clases de combustibles, con el objeto de clasificar los incendios y facilitar así su identificación para la aplicación de los métodos de extinción adecuados de acuerdo a los elementos disponibles estos son:

Fuegos Clase A: Se producen en materiales combustibles corrientes, como madera, papel, maleza, materiales textiles, etc.

Fuego Clase B: Producidos en líquidos o gases inflamables, como gasolina, alcohol, pinturas, aceite, grasas, etc.

Fuegos Clase C: Producidos en equipos eléctricos o en instalaciones por donde pase la electricidad.

Fuegos Clase D: Producidos en metales combustibles como el aluminio pulverizado, magnesio, sodio, titanio, zirconio, potasio, cinc y litio. En la USC no se presenta este tipo de riesgo por lo tanto no se dispone del equipo para su extinción (USC, 2008).

Agentes extintores

Los extintores portátiles han sido clasificados de manera tal que indique su capacidad extintora para clases y tamaño específicos de fuego.

Los rótulos de los extintores indican la clase y el tamaño relativo del fuego que podrían extinguir.

Extintores clase A: Son apropiados para usarse en fuegos de materiales combustibles corrientes tales como madera, papel y textiles en los que se necesita una extinción eficaz por enfriamiento y sofocación.



Extintores clase B: Son apropiados para fuegos de líquidos y gases inflamables, como gasolina, pintura y grasa, en los que es esencial un efecto de exclusión del oxígeno o interrupción de las llamas.

Extintores clase C: Son apropiados para usarse en incendios de equipos e instalaciones de energía eléctrica en los que la no conductividad dieléctrica del agente es de suma importancia, debido al peligro de electrocución que entrañan los extintores a base de agua.

Extintores clase D: Son apropiados para usarse en incendios de metales combustibles, tales como magnesio, potasio, polvo de aluminio, zinc, titanio, zirconio y litio.

Para extinguir un incendio se deben tomar una o más de las siguientes medidas:

Eliminar el oxígeno sofocándolo o diluyéndolo (con un gas inerte como dióxido de carbono, o agua a presión), retirar o aislar el material combustible y interrumpir la reacción en cadena con un agente extintor como polvo químico seco (USC, 2008).

4.8.5. Causas de incendios.

La principal causa por la cual se presentan los incendios son los defectos en las instalaciones eléctricas, las instalaciones temporales o por un mantenimiento deficiente, lo que hace necesario que los responsables de las dependencias garanticen instalaciones eléctricas que cumplan normas y un buen programa de mantenimiento preventivo.

La fricción: es otra de las causas de incendio que hace necesaria la toma medidas preventivas desde el punto de vista de evitar el recalentamiento de bujes desalineados o partes de máquinas rotas.

Llamas abiertas: El manejo de sopletes de corte y soldadura y el uso de quemadores de gas y de aceite, son los principales agentes agresores, para los cuales es necesario que se sigan los estándares de seguridad existente en la USC.



El fumar y los fósforos: Son Riesgos supremamente peligrosos cerca de líquidos inflamables o sectores donde se usan o almacenan combustibles, igualmente en oficinas sitios donde debe restringirse fumar.

Otras causas conocidas son la ignición espontánea y para prevenir los incendios se debe limpiar los conductos de las chimeneas y eliminar diariamente los residuos.

La electricidad estática: En presencia de vapores peligrosos exige que los equipos estén conectados a tierra para la prevención de incendios.

El mantenimiento y recarga de los equipos contra incendio puede ser realizada por un contratista, la responsabilidad por la seguridad de las personas, el estado de los equipos, por los materiales que están en proceso y por los equipos de producción, en última instancia y por derecho natural, recae sobre el jefe inmediato, de tal manera que éstos deben asegurarse no solamente de que se provean los equipos de protección contra incendios adecuados, sino de que los trabajadores sigan los procedimientos de trabajo seguro desde el punto de vista de la prevención de incendios (USC, 2008).



5. ANTECEDENTES

Las investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional relacionados con el objeto de este trabajo, y que se relacionan más adelante, son tesis de diferentes universidades, o artículos científicos, basados en estudios o ensayos que se enfocan principalmente en profundizar sus estudios sobre las características físicas y mecánicas de las especies de madera; también se encuentran registrados estudios acerca del cuidado y tratamientos para estructuras en madera, así como las recomendaciones pertinentes para prolongar la durabilidad dichas estructuras.

A nivel local, no se ha encontrado registro alguno de investigaciones que centren su atención en la caracterización y patología de las especies de madera, sin embargo, se han hallado análisis del comportamiento que tiene la madera como tal, al utilizarla en estructuras permanentes en la restauración de casas coloniales.

5.1. LA MADERA COMO ELEMENTO DE LA CONSTRUCCIÓN

Mediante un estudio realizado por (Cabarcas & Mejía, 2004), se encontraron resultados y recomendaciones tras una serie de indagaciones apoyadas en recursos bibliográficos y ensayos realizados por los autores, para poder tener un conocimiento acerca de la madera como elemento de construcción en la época colonial y su utilización actual dentro de los procesos de restauración, teniendo en cuenta aspectos inherentes a ella. Con este estudio se llegó a la conclusión de que la escogencia del tipo de madera recia a utilizar para reemplazarla por la hallada en la obra, no solamente será determinada por su resistencias mecánica, sino también teniendo en cuenta el análisis de costo de distintas alternativas y de la disposición de éstas en la región.

Las maderas utilizadas actualmente en Cartagena, para la restauración de edificaciones antiguas, debido a su fácil consecución, dimensiones, dureza y resistencia son: guayacán, algarrobo, almendro, cativo, ceiba, abarco, guayabo, nazareno, balata y roble; lo cual da



paso a que se incorporen en los estudios del presente proyecto, y se indague la posibilidad de la inclusión de otras especies, si lo amerita las especies anteriormente mencionadas, realizando un complemento en lo que respecta a la Patología.

5.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA

Es un estudio realizado por (Ayola & Matute, 2013) con el objetivo de determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera utilizada actualmente como viga de entrepiso en las viviendas coloniales del centro histórico la ciudad de Cartagena, a través de ensayos de laboratorio, los cuales permitieron obtener una serie de datos reales para establecer la capacidad de carga y resistencia a las que las especies en estudio podrían ser sometidas. Dando como resultado, un apoyo a los datos plasmados en la normativa colombiana, ya que las especies estudiadas clasificaron dentro los grupos estructurales estipulados por el manual de diseño para madera del grupo andino.

Con el trabajo de (Ayola & Matute, 2013), se abrió paso para los adelantos del presente estudio, dando una idea clara de las especies que actualmente más se usan en la construcción como elementos estructurales, las cuales son: Polvillo, Guayacán, Bálsamo, Almendro, Campano, Puy, Guayabo, Mangle, Ceiba Colorada o Tolúa y Carreto, dichas especies fueron objeto de estudio en lo que respecta a la patología y sanidad de la madera, para ayudar a complementar la información contenida en el trabajo mencionado.

5.3. SISTEMA DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO PARA PISOS EN MADERA

En este trabajo se presenta un sistema avanzado para apoyar la inspección y el diagnóstico de la madera aplicada como revestimiento de pisos. Los defectos que pueden afectar éste tipo de revestimiento junto con sus causas probables se clasifican en este sistema. También incluye las matrices de correlación entre los defectos y las causas probables, la clasificación de los métodos de diagnóstico y las técnicas de reparación adecuadas para cada defecto en la madera (Delgado et al, 2012).



El método de inspección y diagnóstico de defectos en pisos de madera propuesto en éste trabajo puede ser de gran ayuda en la inspección de los mismos, antes de realizar intervenciones para realizar reparaciones y eliminar las causas de los daños.

Esta inspección puede ser parte de una estrategia de mantenimiento proactivo, que también incluye las prescripciones de diseño para evitar defectos en la etapa de uso. Las recomendaciones dadas por los autores fueron inspecciones periódicas durante la vida de servicio del piso de madera, seguidas por la prescripción de la acción curativa o preventiva, dependiendo de la gravedad de los deterioros encontrados.

5.4. DETERIORO DE LA MADERA EN EDIFICIOS, PATOLOGÍA Y CONTROL

En éste estudio se hace mención de las causas del deterioro de los elementos en madera en los edificios, por medio de un análisis de lo que ocurre en realidad en las partes que por lo general son “olvidadas” en los edificios, dando finalmente unos métodos para evitar la proliferación de los agentes destructores de la madera. Concluyendo que un mantenimiento general de las estructuras debe incluir la limpieza frecuente de canales, bajantes, cielorrasos y demás elementos susceptibles a convertirse en un sitio agradable para los agentes patógenos de la madera. Los autores también recomiendan sistemas más avanzados, como los de teledetección para monitorear constantemente las zonas de riesgo. *La salud a largo plazo del edificio siempre dependerá de un adecuado mantenimiento. Esto no es menos cierto en edificios tratados con madera inmunizada* (Slingh & White, 1997) .



6. ESTADO DEL ARTE

A nivel internacional, se ha avanzado considerablemente en la inspección para la oportuna detección de patologías, diagnóstico de los defectos y/o deterioros, y posterior tratamiento de la madera, sea estructural o no, a continuación se presentan estudios en los que se hace un diagnóstico mediante los métodos que los correspondientes autores consideraron necesarios.

6.1. VALORACIÓN IN SITU DE POSTES ELÉCTRICOS DE MADERA

Es un método para evaluar la fuerza necesaria para que un poste se deflece, realizando un ensayo no destructivo, por medio de la aplicación de una pequeña fuerza horizontal, la cual es graficada con la deflexión que presente el poste, con el objetivo de prolongar la curva, y realizar estimaciones del módulo de ruptura, combinando múltiples variables para poder llegar a ésta predicción.

La pendiente de la curva de esfuerzo-deformación y el momento de inercia del poste a partir de un análisis de regresión se correlacionan bien con la resistencia a la rotura de los postes. Además, se determinó un método para medir y ajustar la inclinación de los postes de electricidad en pruebas (Hron & Yazdani, 2011). Los autores recomiendan que, para aumentar la validez del modelo, se deben adicionar datos de pruebas anteriormente realizadas, y tener en cuenta los parámetros adicionales que sean necesarios. Es un caso de gran similitud al del presente trabajo, en el cual se necesitó primero estandarizar los resultados obtenidos en los experimentos, para luego compararlos in situ, o con datos posteriores en laboratorio.

6.2. EPOXIREPARACIÓN DE JUNTAS DE MADERA

Es un estudio experimental realizado por (Avent, 1984), el cual consistió en preparar dos tipos de juntas, el primer tipo, en el que las juntas fueron impregnadas con un material epóxico protector de intemperización, para posteriormente someter las muestras a un



ambiente agresivo, esto con el fin de simular la prevención; El segundo método, consistió en exponer las muestras sin protección a un ambiente agresivo, para finalmente aplicarles el material epóxico y valorar su comportamiento, simulando la reparación de las juntas. El resultado fue que en los dos experimentos las juntas tuvieron un buen comportamiento, concluyendo que la aplicación del epóxico es adecuado en cualquier fase de la junta, siempre y cuando el deterioro no sea muy avanzado.

Finalmente los autores dieron sus propias recomendaciones, que como ya se mencionó, el epóxico tuvo un buen comportamiento, sin embargo, “es mejor reemplazar los miembros de madera que se encuentren seriamente afectados por la exposición a la intemperie, aunque el epóxico puede ser empleado cuando se requiera mantener los elementos originales. En todo caso, siempre es necesaria la opinión de un experto” (Avent, 1984).

6.3. REPARACIÓN DE COLUMNAS DE MADERA MEDIANTE REFUERZOS

El objetivo del estudio presentado en el trabajo de (López, Michael, Sanford, & Goodell, 2005) fue examinar los métodos disponibles para la protección de columnas de madera y restauración de estructuras, con la intención de desarrollar un método eficaz.

Además de revisar los métodos de reparación disponibles, se realizó una inspección de campo de un puerto en Maine (E.U.), para evaluar las tecnologías existentes. Se encontró un método que utiliza una especie de camisa de polímero alrededor de la pieza de madera, con un relleno de concreto en el espacio entre los dos materiales. Concluyendo mediante inspecciones visuales y ensayos de laboratorio, que ésta técnica es efectiva y es doble propósito, ya que brinda un refuerzo estructural, y protege a la madera de las agresiones por parte del ambiente marino.



7. MARCO LEGAL

El Título G de la Norma Sismo-resistente Colombiana actualizada en el año 2010 (NSR-10) establece los requisitos de diseño estructural para edificaciones de madera. Una edificación de madera diseñada y construida de acuerdo con los requisitos del Título G tendrá un nivel de seguridad comparable a los de edificaciones de otros materiales que cumplan los requerimientos del Reglamento.

Esta norma se puede complementar con la Norma Técnica Colombiana NTC 2500 Uso de la Madera en la Construcción, publicada por el ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, la cual se ocupa de la madera como material de construcción y de los procesos industriales y tratamientos, así como de los requisitos de fabricación, montaje, transporte y mantenimiento de elementos de madera. Se recomienda el uso simultáneo de ambas normas, pero para todos los aspectos priman las normas de la NSR-10.

En el capítulo G.11.4.4, se hace énfasis en la protección que debe presentar la madera al momento de ser instalada como elemento estructural: *“Por ser higroscópica y porosa, la madera absorbe agua en forma líquida o de vapor. Si la humedad se acumula en la madera afecta sus propiedades mecánicas, se convierte en conductora de electricidad y sobre todo, queda propensa a la putrefacción y al ataque de hongos. La madera puede humedecerse por acción capilar, por lluvia o por condensación”*.

Otros aspectos que se deben tener en cuenta, de igual manera que la protección ante la humedad, son la protección contra hongos, insectos y el fuego, dichos aspectos son tratados en la NSR-10 (Norma sismo resistente) en los capítulos G.11.4.5, G.11.4.6 y G.11.4.7 respectivamente.

En el capítulo G.11.6, se abarca uno de los temas principales del presente trabajo, ya que se da una serie de indicaciones que se deben seguir para prolongar la vida útil de los elementos estructurales en madera: *“Toda edificación de madera aunque esté bien construida requerirá revisiones, ajustes y reparaciones para prolongar su vida útil. Al*



poco tiempo de construida probablemente será necesario arreglar fisuras en las uniones de las maderas y desajustes en puertas y ventanas debidos al asentamiento en el terreno y al acomodo de la madera a la humedad del ambiente. Posteriormente será necesario efectuar revisiones periódicas y ejecutar los arreglos necesarios”

ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación) es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general, la NTC 2500 (Primera actualización) fue ratificada por el Consejo Directivo de 1997-04 16.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

Las recomendaciones que se pueden encontrar en el capítulo 3 de la NTC 2500, en cuanto al uso de la madera en la construcción, sirven de sustento al momento de brindar una asesoría tratándose de éste material: *“Las construcciones que utilicen madera deben contar con un adecuado control técnico durante los procesos de fabricación, transporte, almacenamiento y montaje. Adicionalmente, una vez erigida la estructura se debe asegurar un mantenimiento apropiado con el fin de garantizar la vida útil esperada”*.



8. METODOLOGÍA

Este trabajo es una investigación de tipo mixta, ya que para ejecutarlo, se realizó una serie de análisis cualitativos y cuantitativos, en los que inicialmente se realizó una búsqueda de información secundaria en la biblioteca y base de datos de la Universidad de Cartagena, así como en el motor de búsqueda de Google, acerca de la caracterización de las especies de madera más usadas en la construcción como elementos estructurales en la ciudad de Cartagena, y luego se procedió a realizar ensayos como el del esclerómetro y el de la extracción de testigo de madera mediante una broca-sierra especial, con el objetivo de obtener información primaria, para estudiar la patología de la madera.

En primera instancia, se consultó con dos profesionales con más de veinte años de experiencia en lo que se refiere a la restauración y edificación en madera. Uno de ellos, el Arquitecto Alfonso Cabrera Cruz quien fue durante cuatro años director de la Oficina de Patrimonio de Cartagena, se encargó de brindar apoyo conceptual en cuanto al tratamiento que debe recibir la madera, desde la explotación (tala del árbol), hasta la puesta en obra; el Arquitecto también recomendó el apoyo por parte del maestro de obras en madera, Gabriel Álvarez Díaz, con más de 25 años de experiencia en restauración de edificaciones coloniales en la ciudad de Cartagena. Álvarez, dio recomendaciones para llevar a cabo una inspección visual adecuada a elementos estructurales de madera, y mencionó las herramientas más usadas para dicha labor, las cuales son: Taladro, formón, cualquier elemento punzante (e.g. barra de acero) y martillo. El otro profesional consultado, fue el Ingeniero Jorge Rocha Rodríguez, encargado de la mayoría de restauraciones a nivel local, ejemplo de su experiencia, la restauración de la Ermita del pie de la Popa. En la consulta realizada al ingeniero Rocha, se adquirieron criterios que se deben tener en cuenta para realizar la sanidad de una obra en madera, concluyéndose que lo más importante en las restauraciones, es la realización de un inventario de los elementos, en el que se encuentren registradas las patologías presentes en la madera, y las decisiones que pueden optarse en caso de daños parciales de un elemento, como el aprovechamiento de los segmentos en buen estado. Posteriormente, se realizaron consultas con el señor Rodrigo Sánchez Barroso,



que se encargó de dar una orientación de gran utilidad en cuanto al desarrollo de las actividades, Sánchez, presenta una experiencia de más de 40 años en el manejo de la madera y su aplicación a restauraciones de obras civiles en la ciudad de Cartagena como lo es la Casa de Huéspedes ilustres en manzanillo (escuela naval de cadetes). Durante su orientación, recomendó la visita a un depósito maderero ubicado en la zona norte de Cartagena (Marbella), con el objetivo de consultar cuáles especies de maderas recias son las más solicitadas, y por ende, las más usadas en la ciudad, dichas especies son: Abarco, Carreto, Guayacán trébol, Guayacán polvillo, Nazareno y Puy. De igual forma, Sánchez Barroso, ofreció material que resultó de gran utilidad al momento de realizar la clasificación y caracterización de las especies de madera mencionadas anteriormente, y otro material en el cual hay parte de lo consignado en el tema de patología de la madera.

Para tener referencias bibliográficas sólidas, se realizó una búsqueda en la biblioteca virtual de la Universidad de Cartagena, con el fin de obtener información acerca de estudios anteriores que trataran el tema de la madera estructural a nivel local, haciendo uso de la búsqueda avanzada, e introduciendo en los campos requeridos, las palabras clave “madera”, “estructura” y “propiedades”, todo esto, con la conjunción “Y”, de tal manera que se obtuviera la información necesaria, que permitiera identificar qué especies de madera, de las que se caracterizaron y clasificaron en éste trabajo, no se encontraban debidamente estudiadas a fondo, tabuladas, clasificadas y comparadas junto con las demás, para poder tener un ordenamiento de los datos faltantes, y que por ende, requirieran ensayos de laboratorio para la determinación de las propiedades mecánicas no encontradas en registros bibliográficos. Sin embargo, al ejecutar la búsqueda indicada anteriormente, se encontró el estudio realizado por (Matute & Ayola, 2013), en el que se evidenció un avance significativo de ésta labor, ya que mediante dicho estudio, se obtuvieron las propiedades físicas y mecánicas de algunas de las especies mencionadas anteriormente. En la investigación de (Matute & Ayola, 2013), se hace referencia en repetidas ocasiones al “Manual del Grupo Andino”, lo cual condujo a una breve inspección de los temas manejados en el mencionado libro. En el manual, se encontró al final, un apéndice con las propiedades mecánicas de las especies de madera de América del Sur (Keenan & Tejada,



1989). Finalmente, se consultaron manuales y catálogos publicados por el SENA, regional Antioquia cuyos autores son (Escobar & Ricardo, 1995), en los cuales se observaron recomendaciones de uso y algunas propiedades físicas y mecánicas de las especies estudiadas en éste documento, dando lugar a la conclusión de que no se necesitarían realizar ensayos de laboratorio para la determinación de las mencionadas propiedades, ya que las tres fuentes citadas anteriormente, en conjunto con la Norma Sismo-Resistente colombiana vigente (NSR-10), resultaron ser confiables para tomarlas como apoyo para caracterizar y clasificar las maderas estudiadas, según los datos encontrados en cuanto a las dos propiedades más importantes en el uso de la madera, la compresión y la flexión (Acevedo et al, 2010).

La identificación de las patologías que puede sufrir la madera en la ciudad de Cartagena, por razones climáticas y por las condiciones apropiadas para el crecimiento de agentes bióticos que afectan directamente la madera, se llevó a cabo mediante inspecciones visuales, en visitas a obras localizadas en el centro de Cartagena, en los días 5, 6, 12, 13 y 20 de Septiembre de 2013, tanto en funcionamiento (Sociedad de Ingenieros y Arquitectos de Bolívar), como en restauración (Muelle de la Bodeguita).

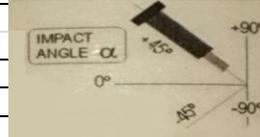
El método cuantitativo para caracterizar las especies de madera estudiadas, se llevó a cabo inicialmente en el laboratorio de la Universidad de Cartagena, para obtener datos que se pudieran tabular, y de ésta manera relacionar y comparar los resultados de los especímenes sanos con los de los deteriorados. El equipo usado en éste método (cuantitativo) fue el esclerómetro, usado en investigaciones como *“Clasificación estructural de la madera de pinus radiata d. don procedente de cataluña mediante métodos no destructivos y su aplicabilidad en la diagnosis estructural”* (Montón, 2012). Los ensayos con el esclerómetro se llevaron a cabo en los días 23-25 de Septiembre de 2013 en el laboratorio de la Universidad de Cartagena, y son típicos del concreto, sin embargo, se adaptó a la madera, mediante el ajuste en un gráfico esfuerzo-lectura a partir de los datos que se aprecian en el aparato, para el caso presente, se tomó un ángulo de impacto de 90°.



Figura 15. Esclerómetro usado para ensayos no destructivos.
Fuente: Los Autores.

Tabla 3. Estimación de la resistencia a la compresión según lectura en el esclerómetro.

	ÁNGULO DE IMPACTO					
	R	$\alpha -90^\circ$	$\alpha -45^\circ$	0°	$\alpha +45^\circ$	
VALOR DE REBOTE R	20	125	115			
	21	135	125			
	22	145	135	110		
	23	160	145	120		
	24	170	160	130		
	25	180	170	140	100	
	26	198	185	158	115	
	27	210	200	165	130	105
	28	220	210	180	140	120
	29	238	220	190	150	138
	30	250	238	210	170	145
	31	260	250	220	180	160
	32	280	265	238	190	170
	33	290	280	250	210	190
	34	310	290	260	220	200
	35	320	310	280	238	218
	36	340	320	290	250	230
	37	350	340	310	265	245
	38	370	350	320	280	260
	39	380	370	340	300	280
	40	499	380	350	310	295
	41	410	400	370	330	310
	42	425	415	380	345	325
	43	440	430	400	360	340
	44	460	450	420	380	360
	45	470	460	430	395	375
	46	490	480	450	410	390
	47	500	495	465	430	410
	48	520	510	480	445	430
	49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460	
51	570	560	530	500	480	
52	580	570	550	515	500	
53	600	590	565	530	520	
54	SOBRE 600	SOBRE 600	580	550	530	
55	SOBRE 600	SOBRE 600	600	570	550	



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MUESTRA F (Kg/cm²)



Los datos extraídos del esclerómetro a un impacto de 90° se tabularon de la siguiente manera:

Tabla 4. Datos del esclerómetro tabulados para obtención del gráfico Resistencia-Lectura.

Fuente: Los Autores

Lectura	Resistencia a la compresión según tabla esclerómetro (Kg/cm ²)
27	105
28	120
29	138
30	145
31	160
32	170
33	190
34	200
35	218
36	230
37	245
38	260
39	280
40	295
41	310
42	325
43	340
44	360
45	375
46	390
47	410
48	430
49	445
50	460
51	480
52	500
53	520
54	530
55	550

Finalmente, se graficaron éstos datos, mediante la herramienta Excel, y se hizo uso de la estimación de una función que los relacionara, obteniendo una curva Potencial con coeficiente de correlación $R^2=0.9946$, el cual es aceptable si se quiere hacer una aproximación a las resistencias de compresión estimadas y adaptar el esclerómetro a la madera.

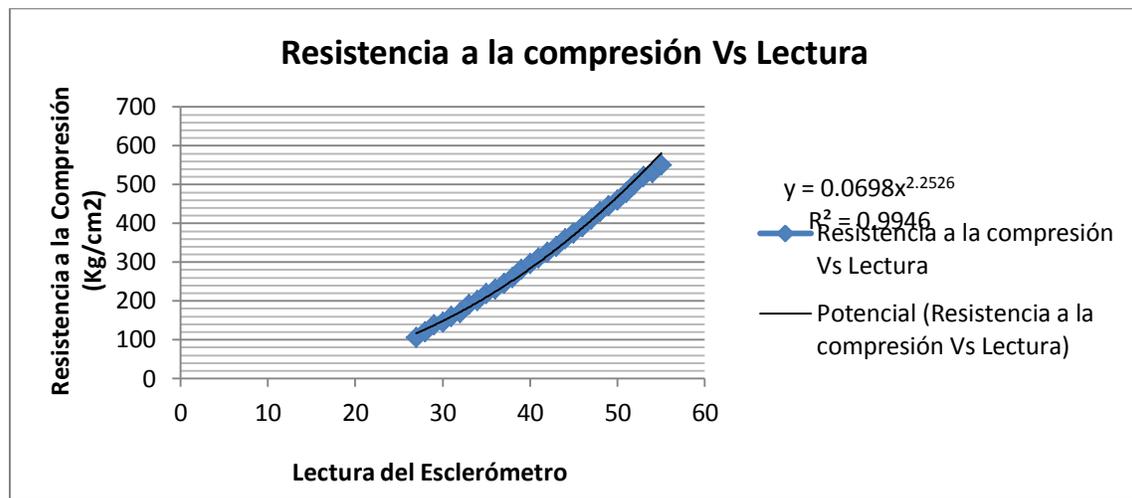


Gráfico 1. Ajuste de una curva Potencial, al graficar los valores del esclerómetro.

Fuente: Los Autores.

Con la ecuación obtenida, se procedió a extender la curva hasta los valores de lectura arrojados por el esclerómetro en los ensayos a las muestras de madera, permitiendo hallar un valor estimado para la resistencia a la compresión de las muestras, verificar la variación de una especie a otra y comparar los resultados obtenidos de los ensayos en maderas sanas con su correspondiente deteriorada, y estimar un promedio de la resistencia a la compresión de cada una de las especies estudiadas con su respectiva desviación.

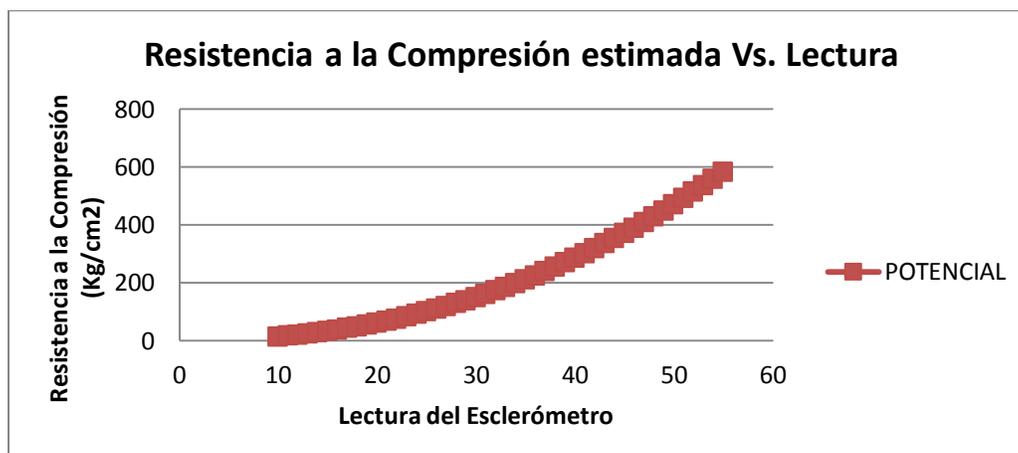


Gráfico 2. Curva Resistencia a la compresión Vs Lectura en el esclerómetro, extendida.

Fuente: Los Autores



Para el ensayo semidestructivo, se usó una broca especial, adaptada a un taladro, con el objetivo de extraer testigos que permitieran determinar el estado de las maderas estudiadas, para esto, se usaron especímenes sanos y deteriorados o enfermos; y de ésta forma comparar el producto extraído entre las sanas con su equivalente en mal estado. Éstos ensayos se realizaron en los días 12, 13 y 14 de Noviembre en un taller de metal-mecánica, ubicado en Membrillal, Cartagena.



Figura 16. a) Penetración muestra sana; b) penetración muestra deteriorada.
Fuente: Los Autores.

En ambos tipos de ensayos, los datos recogidos, procedieron de nueve muestras de madera, seis de ellas correspondían a las especies estudiadas en buen estado, y las otras tres, correspondían a muestras deterioradas para hacer comparaciones entre ellas. En el caso del ensayo con el esclerómetro, se organizaron tres cuadrículas divididas en nueve partes, y en cada una de éstas, se ejecutó un impacto con el instrumento mencionado y obtener la lectura con el fin de promediar la resistencia a la compresión de cada especie de madera estudiada. Mientras que para la penetración con la broca-sierra, se ejecutó una perforación en cada muestra de madera, y de ésta forma, hacer un análisis del producto extraído en cada ensayo.

La metodología para lograr los objetivos del presente trabajo, se encuentra dividida en las siguientes etapas:



Investigación Histórica del Uso de la Madera como Elemento Estructural en Cartagena y selección de las especies por estudiar: En ésta etapa se llevó a cabo la obtención de la mayor información posible acerca del uso de la madera como elemento estructural en Cartagena a través de la historia, ésta tarea se cumplió mediante un trabajo conjunto entre la revisión y consulta bibliográfica, y entrevistas a personal (todos mencionados anteriormente) con alta experiencia en el uso de la madera en el campo de la construcción con fines estructurales permanentes. El objetivo principal de ésta etapa fue conocer qué especies de madera se han venido usando en las diferentes edificaciones a través de la historia de Cartagena, dando como resultado, la selección de las especies: Abarco, Carreto, Guayacán Trébol, Guayacán Polvillo, Nazareno y Puy.

Recopilación de Información y Datos de las Especies de Madera Previamente Seleccionadas: Ésta etapa ayudó a complementar ampliamente la anterior, debido a que con la búsqueda de información de las especies seleccionadas, se pudo saber si dicha información era suficiente o no para la caracterización y clasificación de las mismas. Siendo la fuente de mayor aporte de información para la caracterización y clasificación, el manual “Maderas de Colombia”, ya que en éste se encontraron apuntes de caracterización, y tablas con las propiedades físicas y mecánicas de las especies de madera usadas en Colombia.

Clasificación, según la Normativa: Se hace referencia a lo consignado en la NSR10, y la NTC 2500, para realizar la respectiva clasificación de las especies de madera usadas como elementos estructurales en Cartagena, de ésta forma, se hizo posible la tabulación y organización en un mismo documento, de los aspectos técnicos (compresión y flexión) requeridos para la ejecución de una obra de construcción, restauración o mantenimiento de una edificación, utilizando como elemento estructural permanente la madera.

Sanidad y Patología de la Madera: En ésta etapa se realizó una serie de consultas bibliográficas que permitieron identificar el medio en el que se encuentra la ciudad de Cartagena, ya que mediante dicha identificación, se clasificó como ALTO, el grado de



riesgo ante el deterioro de la madera según su índice climático, el cual tiene en cuenta factores como la temperatura y humedad de la zona, con ésta información, se pueden hacer sugerencias para las medidas de protección que se deben tener en cuenta al tratar una pieza de madera, dependiendo del elemento que se esté tratando (Zanni, 2004). En ésta etapa se hicieron visitas a obras con el objetivo de realizar una inspección visual y procedimientos que permitieran identificar posibles deterioros en los elementos de madera, como punzonamiento, perforación con taladro y observación acústica dando golpes moderados a las piezas en madera.

Los ensayos de laboratorio consistieron en poner a prueba mediante el esclerómetro, (herramienta que comúnmente se usa en el hormigón) una muestra de madera por cada especie, con una serie de cuadrículas para obtener los promedios de lecturas y relacionarlos con la resistencia a la compresión. (Montón, 2012), afirma que *“Existen algunos equipos trabajando con esta herramienta proveniente del campo del hormigón. Principalmente trabajan en la búsqueda de valores de dureza superficial”*, explicando que los ensayos con ésta herramienta aún se encuentran iniciando y que se necesitan más pruebas y estudios que permitan sugerir un uso adecuado y una relación coherente entre los datos arrojados durante el ensayo, con alguna de las propiedades de la madera, sea densidad, resistencia, o dureza.

Otro ensayo de inspección en elementos de madera y que se llegó a la conclusión de que es semidestructivo y no se recomienda hacerlo in-situ por la difícil maniobrabilidad, fue el de la extracción de testigo de madera de cada una de las muestras.

Análisis de los Resultados, Conclusiones y Recomendaciones: Etapa en la que culmina el trabajo de investigación, se recurre a la opinión y concepto del director del Proyecto, para que en conjunto con los investigadores, realice un análisis de los resultados obtenidos tanto en laboratorio, como en la investigación y apoyo bibliográfico, para dar las conclusiones en cuanto a dichos resultados, y finalmente, dar las recomendaciones pertinentes, en lo que se refiere al uso apropiado de las especies estudiadas y las



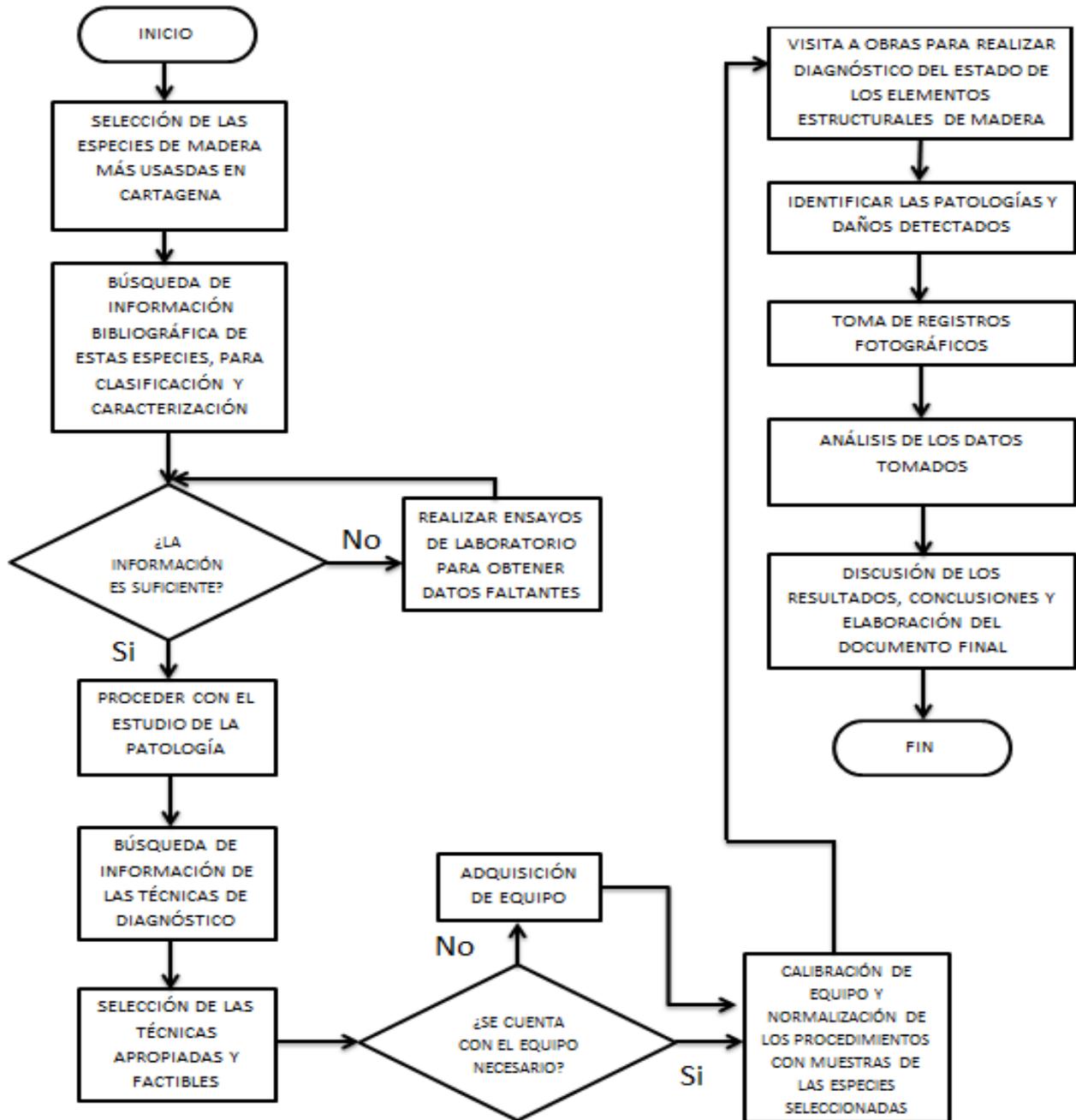
precauciones que se deben tener al elegir cierta especie, para los diferentes posibles usos de ésta.

Una vez realizadas todas las etapas expuestas anteriormente, se está en capacidad de realizar el catálogo de recomendaciones y procesos a implementar para prevenir deterioros tempranos por efectos de agentes patógenos, la detección de debilitamientos mediante inspección visual y acústica, instrumentos de medición (esclerómetro), extracción de muestras (broca-sierra) y el tratamiento en caso de presentar un inicio de daño, ya que se tiene la información suficiente de todas las especies estudiadas, con las respectivas recomendaciones de uso para la construcción como elementos estructurales permanentes, y un estudio acerca de la patología de la madera.

La explicación esquemática de las actividades realizadas para cumplir con los objetivos del proyecto, puede observarse en el diagrama 1.



Diagrama 1. Procedimiento para la ejecución de la investigación.
Fuente: Los Autores





9. RESULTADOS

9.1. CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

Una vez realizada una consulta y referencias bibliográficas, se obtuvo como resultado, una serie de características y propiedades de cada una de las especies de madera estudiadas, las cuales pueden ser plasmadas en un catálogo que suministre información acerca de la patología y caracterización de las especies de madera más usadas en Cartagena como elementos estructurales permanentes. La elaboración del catálogo mencionado, es uno de los objetivos planteados inicialmente en el presente documento, y es una muestra tangible del trabajo realizado por los autores.

A continuación, se muestra la información recopilada luego de la selección de las especies estudiadas.

ELP: Esfuerzo en el límite proporcional.

MOR: Modulo de ruptura.

MOE: Modulo de elasticidad.

ER: Esfuerzo de ruptura.

EXTRAC. CLAVOS: Extracción de clavos.



Tabla 5. Clave para la identificación de resultados de las propiedades físicas
Fuente: (Escobar & Ricardo, 1995)

CLAVE PARA IDENTIFICACION DE RESULTADOS PROPIEDADES FISICAS			
densidad anhidra	CLASE	g/cm³	CONVENCION
	MUY BAJA	0.3	M.B
	BAJA	0.31-0.45	B
	MEDIANA	0.46-0.75	M
	ALTA	0.76-1.00	A
	MUY ALTA	1.00 y más	M.A
CONTRACCIONES (total volumétrica de verde seco al horno)	CLASE	%	CONVENCION
	BAJA	10	B
	MODERADA	oct-15	M
	ALTA	15-20	A
	MUY ALTA	20	M.A
RELACION ENTRE CONTRACCIONES (TAN/RAD. De verde a seco al horno)	CLASE	%/%	CONVENCION
	FAVORABLE	1.5	F
	NORMAL	1.5-1.8	N
	DESFAVORABLE	1.8	D

Tabla 6. Clave para identificación de propiedades mecánicas según ASTM
Fuente: (Escobar & Ricardo, 1995)

CLAVE PARA IDENTIFICACION DE RESULTADOS DE PROPIEDADES MECANICAS SEGÚN ASTM Y DIN (Todos los datos ajustados al 12%)										
CONVENCION	CLASE	FLEXION		DUREZA		CIZALLADURA Kg/cm ²	COMPRESION		TENACIDAD Kg- m/cm ²	ARRANQUE DE CLAVOS Kg
		RES. MAX Kg/cm ²	MOE* 1000 Kg/cm ²	EXTREMOS kg/cm ²	LATERAL Kg/cm ²		PARALE. Kg/cm ²	PERPEND Kg/cm ²		
MA	MUY ALTA	2040	242.3	mayor de	mayor de	167	mayor de	mayor de	mayor de	
		1780	213.8	1515	1500	151	1050	180	1.45	
A	ALTA	1779	213.7	1514	1499	150	1049	179	1.44	mayor de
		1520	185.3	1195	1105	133	750	110	0.85	150
AA	ALGO ALTA	1519	185.2	1194	1104	132				
		1260	156.8	915	800	115				
M	MEDIANA	1259	156.7	914	799	114	749	109	0.84	149
		1010	128.3	660	540	95	545	70	0.50	125
AM	ALGO MEDIANA	1009	128.2	659	539	94				
		755	99.8	455	335	74				
B	BAJO	754	99.7	454	334	73	544	69	0.49	124
		510	71.3	275	175	56	475	45	0.35	50
MB	MUY BAJA	509	71.2	274	174	55	474	44	0.34	49
		265	43.8	110	40	31	o menor	o menor	o menor	o menor



9.1.1. Abarco

(Densidad Básica 0.55)

Nombre científico: *Cariniana pyriformis* Miers

Sinónimo: *Cariniana legalis* (Mart). Kunz

Familia: Lecythidaceae.

Otros nombres comunes: Albarco, Caobano, Chibuya, Caoba Falsa, Cobano, Coco Abarco, Coco Huasco, Jequitiva, Castanha de Macaco, Fono Tallador, Humajotina, Meringue Meniee, Nomana, Nomena, Papelillo, Poná, Tabarí.

Distribución geográfica: Se encuentra desde Costa Rica, Brasil, Venezuela, Perú, hasta Bolivia. En Colombia se halla en los valles de los ríos León y Amazonas, Costa Atlántica, Chocó, Costa del Pacífico, zona de Cúpica, Zona baja del Atrato, Magdalena Medio, en el bajo putumayo y la zona de Urabá.

Características sobresalientes del árbol: Árbol que puede alcanzar hasta 40 metros de altura y 2.0 m. de diámetro. Las raíces son profundas y con bambas pobres. Tronco recto a cónico. La corteza externa es de color marrón oscuro, bastante fisurada, la cual se desprende en tiras largas que se usan como cordages. La corteza interna es de color blanco cremoso de apariencia fibrosa. Hojas simples, alternas con borde aserrado. Flores blanco-amarillentas dispuestas en panículas terminales. El fruto es un pixidio leñoso, piriforme y deshisciente por opérculo apical. Crece en rodales casi puros, en suelos drenados de los bosques húmedo y muy húmedo tropical o asociado con las siguientes especies: ceiba amarilla (*hura crepitans*), caucho (*Ficus sp*), Guayabo (*calycophyllum sp*).

Características externas de la madera: La albura es de color marrón claro rosáceo con transición gradual a duramen de color marrón rosáceo claro hasta oscuro. A menudo con líneas oscuras que acentúan el veteado. Olor y sabor, ausentes o no distintivos. Grano de recto a entrecruzado. Textura de mediana a fina. Brillo mediano. Veteado acentuado.



Secado: Seca rápidamente al aire libre, alcanzando un contenido de humedad del 20%, en menos de 120 días y con poca tendencia a torceduras y rajaduras. Buen comportamiento al secado artificial con programa de secado severo.

Preservación: Es importante de inmunizar mediante los diferentes tratamientos conocidos.

Trabajabilidad: Fácil de trabajar, aunque el contenido de cristales de oxalato de calcio produce desgastes en los filos de la maquinaria y herramientas. Ofrece un buen acabado. En el cepillado y taladrado no se presentan defectos pero cuando estos defectos se dan, se consideran como leves; en el moldurado se manifiesta un ligera dificultad.

Durabilidad natural: Es muy alta. La madera es de resistente a muy resistente al ataque de hongos e insectos.

Usos actuales: Para durmientes de ferrocarril, cruceta para postes, postes para líneas aéreas, construcciones normales, chapas para triplex y decorativas, carretería, pisos de viviendas y vagones, muebles, carrocerías, fabricación de lápices, estructuras (armaduras, vigas, viguetas y columnas), puertas, ventanas, Zócalos, cielo raso, cajonería.

Usos potenciales: Para construcciones navales, esculturas, tornería, construcción de hangares, tacones para zapatos de mujer, encofrados, mangos de herramientas, moldes, tejas, instrumentos de laboratorio, parket, machihembrado y pasos de escaleras, tableros enlistonados, botes y gabinetes.



PROPIEDADES FISICAS				
DENSIDAD g/cm³	VERDE	SECA AL AIRE	ANHIDRA	BASICA
		0.96	0.71	0.64
CONTRACCION NORMAL %	TANGENCIAL	RADIAL	VOLUMETRICA	T/R
	5.13	3.17	8.3	1.61
CONTRACCION TOTAL %	7.82	5.35	13.17	1.46

PROPIEDADES MECANICAS								
CONDICION CH%	FLEXION ESTATICA			COMPRESION				
	ELP Kg/cm²	MOR Kg/cm²	MOE*10³ Kg/cm²	PARALELA			PERPENDICULAR	
				ELP Kg/cm²	MOR Kg/cm²	MOE*10³ Kg/cm²	ELP Kg/cm²	MOR Kg/cm²
VERDE + 30%	372.13	641.62	103.32	201.42	272.05	1108.39	60.89	93.22
SECO AL AIRE 12%	575.42	1027.9	132.1	313.6	542.49	1411.66	108.72	148.3

CONDICION CH%	DUREZA Kg			CIZALLADURA Kg/cm²		TENACIDAD Kg-m		EXTRAC. CLAVOS Kg	
	Lados	Extremos		Radial ER	Tangenc. ER	Radial	tangenc.	Lados	Extremos
VERDE + 30%	387.67	340.95		82.16	89.33	1.3	1.45	85.98	65.59
SECO AL AIRE 12%	507.82	508.55		122.19	119.25	1.02	1.23	69.95	60.94

Las propiedades mecánicas son medianas, lo cual concuerda con su densidad y las claves para la identificación de resultados.



9.1.2. Carreto

(Densidad Básica 0.77)

Nombre científico: *Aspidosperma dugandii* Standl

Sinónimo: *Aspidosperma polyneuron* Muell. Arg.

Familia: Apocynaceae

Otros nombres comunes: Cumulá, Amargo, Carretillo, Castillo, Quimola, Macuiro, Chivato.

Distribución geográfica: Se encuentra desde Colombia, Paraguay, Perú, Brasil, Bolivia hasta la Argentina. En Colombia se halla en la Costa Atlántica, Valle seco del Río Magdalena, Tolima, Huila, magdalena medio y la Amazonía.

Aspectos sobresalientes del árbol: Árbol que puede alcanzar hasta 40 metros de altura y 0.90 m. de diámetro. Tronco recto, Cilíndrico y corto. La corteza externa es de color gris oscuro y lenticelada. La corteza interna segrega un látex acuoso y escaso. Hojas simples alternas, subcoriáceas, lanceoladas y abruptamente acuminadas. Las flores son de color amarillento, pequeñas y dispuestas en partículas terminales o axilares. El fruto es un par de folículos de color verde, lechoso, el cual seca en el árbol liberando semillas pequeñas ya aladas.

Crece en las formaciones vegetales bosques húmedo tropical (bh-T) y bosque seco tropical (bs-T), generalmente asociado con las especies: Guipo (*Cavanillesia* sp) y peralejo (*Byrsonima* sp).

Características externas de la madera: La albura es de color amarillo quemado claro, poco diferenciable del duramen, que varía desde un color amarillo quemado hasta amarillo-marrón con rayas (vetas) rojizo-marrón. Olor ausente o no distintivo. Sabor amargo. Grano



de recto a entrecruzado. Textura fina y uniforme. Brillo mediano. Veteado de acentuado a muy acentuado.

Secado: Moderadamente difícil de secar al aire libre, presentando deformaciones y grietas superficiales.

Preservación: Es fácil de tratar, presentando la albura una retención de 150 a 200 Kg/m³ y el duramen una retención de 100- 150 Kg/m³ y penetración parcial periférica, cuando se somete a los sistemas vacío-presión o inmersión.

Trabajabilidad: Moderadamente difícil de trabajar con herramientas manuales y en las diferentes operaciones de maquinad. Utilizando herramientas de metal duro no se presentan dificultades. Fácil de cepillar, obteniéndose un buen acabado, excepto si hay grano entrecruzado; pule bien sin requerir mucho lijad, en el caso de grano recto.

Resistente a la penetración de clavos y tornillos, pero los retiene bien sin agrietarlos. Fácil de encolar.

Durabilidad natural: Resistente a moderadamente resistente al ataque de hongos e insectos. Duración en uso exterior entre 5 y 10 años.

Usos actuales: Carpintería, peldaños de escalera, carrocerías, mangos para herramientas, pisos industriales, muebles, polines, durmientes, vigas, puentes y ebanistería.

Usos potenciales: Chapas decorativas, parquet, tornería, construcciones pesadas, construcciones navales, fabricación de candelabros y ceniceros, armazones de barco, crucetas, artículos deportivos, usos especiales que requieran una alta resistencia a los ácidos, cajas o empaques de lujo.



PROPIEDADES FISICAS				
DENSIDAD g/cm³	VERDE	SECA AL AIRE	ANHIDRA	BASICA
		1.02	0.94	0.91
CONTRACCION NORMAL %	TANGENCIAL	RADIAL	VOLUMETRICA	T/R
	5.1	2	7.1	2.55
CONTRACCION TOTAL %	11.1	5	16.1	2.22

PROPIEDADES MECANICAS								
CONDICION CH%	FLEXION ESTATICA			COMPRESION				
	E.L.P Kg/cm²	M.O.R Kg/cm²	MOE*10³ Kg/cm²	PARALELA			PERPENDICULAR	
				E.L.P Kg/cm²	M.O.R Kg/cm²	-	ELP Kg/cm²	-
VERDE + 30%		1015	-	-	487	-	-	-
SECO AL AIRE 12%	934	1748	168	638	817	-	145	-

CONDICION CH%	DUREZA Kg			CIZALLADURA Kg/cm²		TENACIDAD Kg-m	
	Lados	Extremos	-	Paralela	-	-	-
VERDE + 30%	1048	-	-	-	-	-	-
SECO AL AIRE 12%	1175	1329	-	189	-	3.4	-

Las propiedades mecánicas son altas, lo cual concuerdan con su densidad y las claves para identificación de resultados.



9.1.3. Guayacán trébol

(Densidad Básica 0.78)

Nombre científico: *Pltymiscium pinnatum*(Jacq) Dugand.

Familia: Fabaceae.

Otros nombres comunes: Roble, Trébol, Trébol negro, Corazón, Guayacán.

Distribución geográfica: Se encuentra desde Guatemala, Costa Rica, Panamá, Brasil hasta Venezuela. En Colombia se halla en la Costa Atlántica, valle seco del Río Magdalena medio, Tolima, Huila, cañón de Rio cauca, Zona de Urabá, Santafé de Antioquia, Sopetrán, San jerónimo y la pintada.

Aspectos sobresalientes del árbol: Árbol que alcanza una altura hasta 30 m y un diámetro hasta de 1.0 m. Tronco recto y cilíndrico. La corteza externa de color gris y apariencia fisurada. Hojas opuestas, compuestas, imparipinnadas, con tres a cinco folíolos ovados y acuminados. Flores de color amarillo- anaranjado, dispuestas en racimo o panículas terminales. El fruto es una legumbre aplanada, indehiscente, con una longitud hasta de 10 cm, y una semilla. Crece en las formaciones vegetales: monte espinoso tropical (Me-T), bosques seco tropical (bs-T) y bosques húmedo tropical (bh-T).

Características externas de la madera: La albura es de color amarillo- blanquecino, con transición abrupta a duramen de color marrón- rosado. Olor y sabor no distintivos. Grano de recto a oblicuo. Textura mediana. Brillo de alto a mediano. Veteado acentuado.

Secado: Es de moderadamente difícil a difícil de secar al aire libre por su lenta velocidad de secado, con poca tendencia a presentar deformaciones y rajaduras.

Preservación: Difícil de tratar. La albura presente una retención baja y penetración incompleta, al tratarla por los sistemas Vacío- presión o inmersión. El duramen es imposible de inmunizar.



Trabajabilidad: Es moderadamente difícil de trabajar con herramientas manuales y en los procesos de maquinado se debe emplear herramientas de metal duro y técnicas que limiten el desgaste de los filos. Ofrece un buen acabado.

Durabilidad natural: Moderadamente resistente al ataque de hongos e insectos. Posee una duración en uso exterior de cinco a diez años.

Usos actuales: Muebles, ebanistería, carpintería, puentes, remos y canoas.

Usos potenciales: Traviesas, construcciones pesadas, pisos, chapas decorativas, tornería, carretería, carrocerías, instrumentos musicales (marimbas y violines), artículos deportivos, mangos para herramientas, esculturas, parquet y vigas.

PROPIEDADES FISICAS				
DENSIDAD g/cm ³	VERDE	SECA AL AIRE	ANHIDRA	BASICA
		1.067		1.026
CONTRACCION NORMAL %	TANGENCIAL	RADIAL	VOLUMETRICA	T/R
	5.82	3.84	9.66	1.51
CONTRACCION TOTAL %	2.33	1.46	3.79	1.59

PROPIEDADES MECANICAS								
CONDICION CH%	FLEXION ESTATICA			COMPRESION				
	E.L.P Kg/cm ²	M.O.R Kg/cm ²	MOE*10 ³ Kg/cm ²	PARALELA			PERPENDICULAR	
				ELP Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	-	ELP Kg/cm ²	-
VERDE + 30%	-	-	-	-	-	-	-	-
SECO AL AIRE 12%	-	2270	-	-	1240	-	220	-



CONDICION CH%	DUREZA Kg			CIZALLADURA Kg/cm ²		TENACIDAD Kg-m	
	Lados	Extremos	-	Promedio	-	Promedio	-
VERDE + 30%	-	-	-	-	-	-	-
SECO AL AIRE 12%	1570	1655	-	132	-	1.53	-

Las propiedades mecánicas son muy altas, lo cual concuerdan con su densidad y las claves para identificación de resultados.

9.1.4. Nazareno

(Densidad Básica 0.89)

Nombre científico: *Peltogyne porphyrocordia* Griseb. Warb

Familia: Caesalpinaceae.

Otros nombres comunes: Tananeo, Guarmo loro, Menecke; mochilero.

Distribución geográfica: Esta especie al igual que otras del género *peltogyne* (*P. purpúrea pittier*, *P. pubescens* Benth, *P. paniculata* benth y *P. venosa* (Vahl) Benth, se encuentra desde México, Guyanas, Centroamérica, Panamá, Venezuela, Brasil hasta Bolivia. En Colombia la más reportada es *Peltogyne purpúrea pittier* que se halla en Tumaco, Zona de Urabá. Magdalena medio y la Amazonía.

Aspectos sobresalientes del árbol: Árbol que puede alcanzar hasta 40 metros de altura y 0.90 m. de diámetro. Tronco recto, cilíndrico, con aletones delgados pequeños. La corteza externa es de color marrón grisáceo y de textura escamosa. La corteza interna es de color rosadoamarillento. Las hojas son alternas, compuestas pinnadas, bifoliadas, enteras. Las flores son pequeñas, de color blanquecino, que generalmente se agrupa en panículas corimbiformes. El fruto es una legumbre ovoide, comprimida, dehiscente y que contiene



una semilla sin endospermo. Crece en las formaciones vegetales, Bosques húmedo tropical (bh-T) a bosque muy húmedo tropical (bmh-T), generalmente asociado con las especies: Ceiba (Ceiba pentandra) y agua miel (terminalia spp).

Características externas de la madera: La albura es de color blanco o grisáceo con vetas fina moradas, con transición abrupta a duramen de color marrón violáceo, el cual toma con el tiempo un tono morado violeta intenso. Olor y sabor , ausentes o no distintivos. Brillo de mediano a brillante. Grano de recto a entrecruzado. Textura fina. Veteado en arcos superpuestos y satinado en bandas longitudinales con reflejos violáceos.

Secado: La madera es moderadamente difícil de secar al aire libre, presentando deformaciones leves.

Preservación: Es madera difícil de tratar. La albura tratada por los sistemas vacío- presión e inmersión tiene una penetración incompleta y una retención de 50 a 100 Kg/m³: El duramen es imposible de inmunizar cualquiera que sea el sistema utilizado.

Trabajabilidad: La madera es difícil de trabajar con herramientas manuales. En las operaciones de maquinado se deben emplear herramientas con filos reforzados y técnicas de corte adecuadas. Ofrece un buen acabado, un alto pulimento y encola bien. Para evitar agrietamiento de la madera cuando se le aplican tornillos, es necesario perforar previamente.

Durabilidad natural: Es clasificada como durable, siendo muy resistente al ataque de hongos e insectos. La albura no es durable.

Usos actuales: Carrocería, pisos industriales, tornería, muebles, chapas, carretería, ebanistería, objetos de adorno, rueda de carretas, esculturas y pisos.

Usos potenciales:

Aparatos para gimnasios, cabos para herramientas, molduras, machihembrado, parquet, traviesas para ferrocarril, construcciones pesadas y navales, chapas decorativas,



implementos agrícolas, tacos de billar, chumaceras, vigas, culatas de armas, bastones, construcciones navales.

PROPIEDADES FISICAS				
DENSIDAD g/cm³	VERDE	SECA AL AIRE	ANHIDRA	BASICA
		1.26	1.06	1.01
CONTRACCION NORMAL %	TANGENCIAL	RADIAL	VOLUMETRICA	T/R
	2.4	1.4	3.8	1.71
CONTRACCION TOTAL %	7.3	4.3	11.6	1.69

PROPIEDADES MECANICAS								
CONDICION CH%	FLEXION ESTATICA			COMPRESION				
	ELP Kg/cm²	MOR Kg/cm²	MOE*10³ Kg/cm²	PARALELA			PERPENDICULAR	
				-	MOR Kg/cm²	-	ELP Kg/cm²	-
VERDE + 30%	801	1221	169	-	684	-	129	-
SECO AL AIRE 12%	1068	1785	199	-	963	-	210	-

CONDICION CH%	DUREZA Kg			CIZALLADURA Kg/cm²		TENACIDAD Kg-m	
	Lados	Extremos	-	Radial	Tangenc.	Radial	tangenc.
VERDE + 30%	1524	1364	-	147	181	2.9	3.23
SECO AL AIRE 12%	1931	1914	-	210	232	2.82	3.12

Las propiedades mecánicas son de alta a muy altas, lo cual concuerdan con su densidad y las claves para identificación de resultados.



9.1.5. Guayacán polvillo

(Densidad Básica 0.92)

Nombre científico: *Tabebuía serratifolia* (Vahl) Nicholson.

Sinónimo: *Bignonia serratifolia* Vahl, *Tecoma serratifolia* G. Don.

Familia: Bignoniaceae.

Otros nombres comunes: Roble amarillo, Coralibe, Alumbre, Cañahuate, Buecporie, Poliarco amarillo, palo de arco, Chicala, polvillo, Curarire, guayacán, Roble.

Distribución geográfica: Se encuentra desde Trinidad y Tobago, Granada, México, Guatemala, Nicaragua, Costa Rica, El Salvador, Guyanas, Brasil, Venezuela, Bolivia, Perú, hasta Paraguay. En Colombia se halla en la ribera del Río Cauca, Magdalena medio, La Amazonía, Vaupés, La zona de Urabá, Serranía de los Motilones y los montes de Oca en la Guajira.

Características sobresalientes del árbol: Árbol que puede alcanzar hasta 45 metros de altura y 1.20 m. de diámetro. Tronco recto y cilíndrico. La corteza externa es de color Grisácea o parduzca clara, delgada y de apariencia algo escamosa o agrietada. La corteza interna es de color castaño rojiza. Las hojas son opuestas, digitales, con folíolos de borde aserrado, que al secarse se tornan verdosas. Flores de color amarillo, dispuestas en racimos terminales axiliares.

Características externas de la madera: La albura es de color crema grisáceo o marrón claro, con transición abrupta a duramen de color oliva claro hasta oscuro, con fondo marrón y líneas más oscuras; los vasos en el corte longitudinal son más claros y contienen un polvo amarillo (Lapachol). Olor y sabor no distintivos. Grano de recto hasta muy irregular. Textura fina a mediana. Brillo mediano a alto. Superficie ligeramente grasosa. Veteado alto muy alto en bandas claras y oscuras.



Secado: Madera moderadamente difícil de secar al aire libre y artificialmente. Durante el proceso de secado se presentan deformaciones, rajaduras en los extremos y agrietamientos superficiales, todos muy leves.

Preservación: Madera difícil de tratar cuando se somete a los diferentes sistemas de inmunización.

Trabajabilidad: Madera moderadamente difícil de aserrar y de buen comportamiento a la trabajabilidad. Se deben utilizar técnicas que limiten el desgaste de los filos. Presenta un buen secado.

Durabilidad natural: Es altamente resistente al ataque de hongos e insectos. Posee una duración en uso exterior superior a 15 años. Es susceptible al ataque de taladradores marinos.

Usos actuales: Traviesas, construcciones de puentes, carretería, carpintería, mangos para herramientas, postes, construcciones navales, partes para máquinas y vehículos, artículos deportivos, implementos agrícolas, pilotes, instrumentos profesionales y científicos, muebles y ebanistería.

Usos potenciales: Para tornería, chapas decorativas, construcciones pesadas a la intemperie, pisos, vigas, estacones, vagones, bastones, arcos musicales y deportivos, parquet y artesanías.

PROPIEDADES FISICAS				
DENSIDAD g/cm ³	VERDE	SECA AL AIRE	ANHIDRA	BASICA
			1.1	1.06
CONTRACCION NORMAL %	TANGENCIAL	RADIAL	VOLUMETRICA	T/R
	8	6.6	14.6	1.21
CONTRACCION TOTAL %	8.88	5.69	14.57	1.56



PROPIEDADES MECANICAS								
CONDICION CH%	FLEXION ESTATICA			COMPRESION				
	ELP Kg/cm2	MOR Kg/cm2	MOE*10 ³ Kg/cm2	PARALELA			PERPENDICULAR	
				ELP Kg/cm2	MOR Kg/cm2	MOE*10 ³ Kg/cm2	ELP Kg/cm2	-
VERDE + 30%	1000	1586	205	625	728	219	162	-
SECO AL AIRE 12%	1171	1783	221	633	915	229	162	-

CONDICION CH%	DUREZA Kg			CIZALLADURA Kg/cm2		TENACIDAD Kg-m	
	Lados	Extremos	-	promedio	-	promedio	-
VERDE + 30%	1389	1194	-	149	-	6.5	-
SECO AL AIRE 12%	1675	1444	-	145	-	4.16	-

Las propiedades mecánicas son de alta a muy altas, lo cual concuerdan con su densidad y las claves para identificación de resultados.

9.1.6. Puy

(Densidad Básica 0.85)

Nombre científico: *Tabebuia impetiginosa* - (Mart. Ex DC.) Standley

Familia: Bignoniaceae

Nombre comercial internacional: Ipe, Lapacho

Otros nombres comunes: Tajibo, Araguaney, Poi, Polvillo.

Distribución geográfica: Bosque húmedo subtropical a bosque húmedo templado, Deptos de Santa Cruz, Chuquisaca, Tarija, Beni y Pando.



Región y frecuencia: Es considerada como especie principal en las regiones de la chiquitanía, bajo, Paraguá, Guarayos, Choré, Pie de monte Amazónico y la Amazonia.

Características sobresalientes del árbol: Árbol que puede alcanzar hasta 25 metros de altura. Tronco recto y cilíndrico. La corteza externa es de color pardo grisáceo, rugoso con surcos o grietas longitudinales. Copa mediana, follaje color verde intenso, hojas compuestas opuestas.

Características externas de la madera: La albura es de color amarillento, con duramen de color marrón verdoso a marrón amarillento. Olor fuerte característico y sabor no distintivo; Brillo mediano y Grano entrecruzado. Veteado oscuro y textura media.

Secado: El pre-secado es muy lento, se recomienda un programa suave de secado artificial.

Preservación: Impermeable

Trabajabilidad: Difícil de procesar, mejor en estado húmedo, se logra un buen acabado superficial.

Durabilidad natural: Durable, especialmente fuera del contacto con el suelo.

Usos actuales: Construcciones (uso estructural y decorativo), láminas de enchape, muebles de jardín, durmientes, parquet y pisos, muebles especiales.

PROPIEDADES FISICAS				
DENSIDAD g/cm ³	VERDE	SECA AL AIRE	ANHIDRA	BASICA
	1.3	1.05	-	0.85
CONTRACCION TOTAL %	TANGENCIAL	RADIAL	VOLUMETRICA	T/R
	5.6	3.3	10	1.7



PROPIEDADES MECANICAS					
DUREZA Kg	CIZALLADURA Kg/cm2	TENACIDAD Kg-m	COMPRESION PARALELA		
Lateral	Radial ER	Promedio	MOE*10 ³ Kg/cm2	MOR Kg/cm2	E.R. Kg/cm2
1428	5.69	4.16	130	1371	719

9.2. ENSAYOS DE INSPECCIÓN PATOLÓGICA REALIZADOS

Los ensayos realizados a las muestras de las especies Abarco, Carreto, Guayacán polvillo, Guallacán trébol, Nazareno y Puy, consistieron en uno semidestructivo de tipo cualitativo (toma de muestra con broca-sierra o barrena rotativa), llamado así debido a que el diámetro del agujero en la madera no representa un daño considerable al elemento; y uno no destructivo (impacto con el esclerómetro), el cual no es de uso común en elementos de madera, pero que según los resultados, se puede observar que sería un índice cuantitativo del estado de una pieza estudiada, debido a que la lectura en el aparato, se puede correlacionar con una resistencia aproximada a la compresión (en kg/cm²), de la muestra.

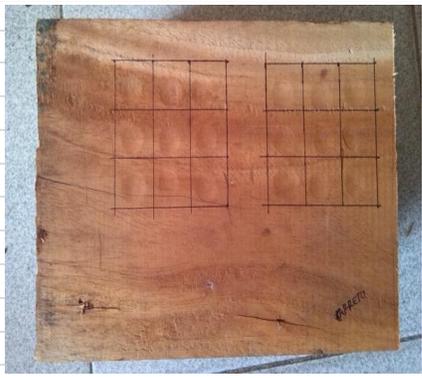
A continuación se presentan los resultados obtenidos de los ensayos con el esclerómetro en las muestras de madera de las especies estudiadas en éste documento:

Cuadro 1. Resultados de ensayos con esclerómetro en la especie Abarco

ABARCO						
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Resistencia a la compresión estimada según ensayo del esclerómetro(kg/cm ²)		
				Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
	13	13	20	22.55	22.55	59.51
	10	12	15	12.49	18.83	31.13
	12	10	11	18.83	12.49	15.48
	10	11	19	12.49	15.48	53.01
	11	14	16	15.48	26.65	36.00
	16	10	16	36.00	12.49	36.00
	17	12	18	41.26	18.83	46.93
	17	12	17	41.26	18.83	41.26
	10	10	14	12.49	12.49	26.65
Promedio por ensayo=	12.89	11.56	16.22	23.65	17.62	38.44
Desviación por ensayo=	3.02	1.42	2.73	12.44	4.92	13.55
Promedio de los ensayos=	13.56			26.57		
Desviación de los promedios=	2.40			10.71		



Cuadro 2. Resultados de ensayos con esclerómetro en la especie Abarco

CARRETO						
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Resistencia a la compresión estimada según ensayo del esclerómetro(kg/cm ²)		
				Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
	16	18	19	36.00	46.93	53.01
17	15	15	41.26	31.13	31.13	
20	16	13	59.51	36.00	22.55	
13	17	14	22.55	41.26	26.65	
15	14	16	31.13	26.65	36.00	
17	14	13	41.26	26.65	22.55	
15	13	15	31.13	22.55	31.13	
13	14	16		26.65	36.00	
14	19			53.01		
Promedio por ensayo=	15.56	15.56	15.13	37.55	34.54	32.37
Desviación por ensayo=	2.24	2.07	1.96	11.69	10.52	9.86
Promedio de los ensayos=	15.41			34.82		
Desviación de los promedios=	0.25			2.60		

Cuadro 3. Resultados de ensayos con esclerómetro en la especie Guayacán Polvillo

GUAYACÁN POLVILLO						
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Resistencia a la compresión estimada según ensayo del esclerómetro(kg/cm ²)		
				Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
	14	19	10	26.65	53.01	12.49
14	20	12	26.65	59.51	18.83	
10	22	17	12.49	73.76	41.26	
13	12	15	22.55	18.83	31.13	
10	17	10	12.49	41.26	12.49	
14	19	21	26.65	53.01	66.42	
12	15	12	18.83	31.13	18.83	
15	15	10	31.13	31.13	12.49	
16	12	15	36.00	18.83	31.13	
Promedio por ensayo=	13.11	16.78	13.56	23.71	42.27	27.23
Desviación por ensayo=	2.09	3.53	3.78	7.98	18.93	17.88
Promedio de los ensayos=	14.48			31.07		
Desviación de los promedios=	2.00			9.86		



Cuadro 4. Resultados de ensayos con esclerómetro en la especie Guayacán Trébol

GUAYACÁN TREBOL						
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Resistencia a la compresión estimada según ensayo del esclerómetro(kg/cm ²)		
				Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
	13	13	16	22.55	22.55	36.00
	15	16	14	31.13	36.00	26.65
	20	19	18	59.51	53.01	46.93
	18	12	12	46.93	18.83	18.83
	19	15	13	53.01	31.13	22.55
	16	17	19	36.00	41.26	53.01
	14	13	10	26.65	22.55	12.49
	17	14	13		26.65	22.55
20	15	14		31.13		
Promedio por ensayo=	16.89	14.89	14.33	39.40	31.45	29.88
Desviación por ensayo=	2.57	2.20	2.87	13.98	10.74	14.17
Promedio de los ensayos=	15.37			33.58		
Desviación de los promedios=	1.34			5.10		

Cuadro 5. Resultados ensayos con esclerómetro en la especie Nazareno

NAZARENO						
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Resistencia a la compresión estimada según ensayo del esclerómetro(kg/cm ²)		
				Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
	18	17	28	46.93	41.26	126.98
	21	20	27	66.42	59.51	116.99
	28	22	26	126.98	73.76	107.45
	24	15	25	89.73	31.13	98.37
	25	14	26	98.37	26.65	107.45
	19	14	29	53.01	26.65	137.42
	26	13	28	107.45	22.55	126.98
	32	12	27	171.54	18.83	116.99
26	22	28	107.45	73.76	126.98	
Promedio por ensayo=	24.33	16.56	27.11	96.43	41.56	118.40
Desviación por ensayo=	4.44	3.88	1.27	38.89	21.87	12.39
Promedio de los ensayos=	22.67			85.47		
Desviación de los promedios=	5.47			39.57		



Cuadro 6. Resultados de ensayos con esclerómetro en la especie Puy

PUY						
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Resistencia a la compresión estimada según ensayo del esclerómetro(kg/cm ²)		
				Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
	11	15	17	15.48	31.13	41.26
	10	13	19	12.49	22.55	53.01
	19	17	16	53.01	41.26	36.00
	16	13	14	36.00	22.55	26.65
	17	10	17	41.26	12.49	41.26
	21	17	14	66.42	41.26	26.65
	11	12	13	15.48	18.83	22.55
	21	14	14		26.65	26.65
	13	12	13		18.83	
Promedio por ensayo=	15.44	13.67	15.22	34.30	26.17	34.25
Desviación por ensayo=	4.36	2.35	2.11	20.89	10.01	10.45
Promedio de los ensayos=	14.78			31.58		
Desviación de los promedios=	0.97			4.68		

Puede notarse que la madera que presenta mayor lectura es el Nazareno, lo cual hace inferir que aparentemente, es la que más resistencia a la compresión posee, tratándose de esfuerzos paralelos a la fibra.

Las descripciones de las muestras tomadas de las piezas de madera estudiadas con la barrena rotatoria (ensayo semidestructivo), se presentan a continuación:

9.3. EXTRACCION DE TESTIGO EN LAS ESPECIES ESTUDIADAS.

Este ensayo de extracción de testigo o muestra se llevó a cabo utilizando una broca especial, diseñada por los Autores de esta tesis y adaptada a un taladro magnético, aunque bien puede adaptarse a uno manual de potencia superior a los 650 Watts, debido a las grandes dimensiones de la broca, mostradas en la figura 17. La razón por la que se usó un taladro magnético fue por practicidad, ya que al tratarse de ensayos de laboratorio, y no en obra, era necesario que las muestras de madera estuvieran sujetas, y ésta sujeción la brinda el ya mencionado taladro magnético.



Figura 17. Taladro usado para la extracción de los testigos de madera.

Fuente: Los Autores

La idea de una broca-sierra (denominada así por la similitud con una herramienta con la que se extraen “tapones” de madera de máximo 5cm de longitud), se presentó por la necesidad de realizar una inspección tangible del estado de cualquier elemento estructural de madera, y que permitiera llegar a profundidades considerables de los elementos en cuestión, concluyéndose así que era necesario realizar un diseño de ésta herramienta con las siguientes especificaciones: 15cm (aproximadamente 6”) de largo, diámetro de la muestra (diámetro interno de la broca) 5/8”, diámetro exterior de la broca 7/8”, espigo de 1/2”, ranuras helicoidales a lo largo broca de 0.6 cm de ancho, los cuales permitan tener acceso visual a la muestra y extraerla en caso de atascamiento, dientes de tungsteno.



Figura 18. Especificaciones de la broca-sierra señaladas en el prototipo.

Fuente: Los autores



El procedimiento de este ensayo consistió en tomar una muestra sana de cada especie de las maderas recias estudiadas, y algunas muestras deterioradas para observar su comportamiento hacer una comparación entre los dos estados. Se penetraron con la broca sierra de características especiales adaptada al taladro, para extraer un testigo y poder observar en qué condiciones se encuentra la especie de la madera estudiada, este ensayo es semidestructivo, lo que conlleva a realizarse después de haber hecho las inspecciones in situ pertinentes, sirve para identificar posibles anomalías en la madera tales como ataques de xilófagos, coleópteros entre otros insectos. Los resultados fueron los siguientes.

NAZARENO



Figura 19. Muestra de Nazareno con los testigos extraídos de las perforaciones
Fuente: Los autores

Se observa la especie de madera con distintas perforaciones y una muestra intacta y otras dos que se rompieron en el proceso de extracción. Esto se puede presentar por razones como: la madera es anisotrópica; porque existe fractura propia de la madera producto de una especie de clivaje (planos de debilitamiento propios de los materiales que están compuestos por capas en este caso de las fibras).



Figura 20. Testigo extraído de la especie Nazareno
Fuente: Los autores



En esta figura se muestra el testigo completo que se pudo obtener después de hacer varios ensayos. Al extraer el testigo de la broca, se pudo apreciar que al comprimirlo radialmente, éste ofrecía una gran resistencia y un buen estado aparente, en cuanto a la viruta al principio salió gruesa y a medida que se iba penetrando la broca-sierra, la viruta cambiaba el tamaño de las partículas, volviéndose una especie de polvillo.



Figura 21. Viruta extraída junto con el testigo de Nazareno
Fuente: Los autores

PUY



Figura 22. Muestra de Puy con el testigo extraído
Fuente: Los autores

En esta especie se extrajo un testigo completo y al tacto se pudo apreciar que estaba completamente sana. En el proceso de extracción la viruta desde principio a fin fue muy fina y conservó un color oscuro.



Figura 23. Viruta extraída junto con el testigo de Puy
Fuente: Los autores

GUAYACÁN POLVILLO



Figura 24. Muestra de Guayacán polvillo con el testigo extraído
Fuente: Los autores



Figura 25. Testigo extraído de Guayacán Polvillo
Fuente: Los autores

Se puede observar que se extrajo un testigo en buen estado, sano.



GUAYACÁN TREBOL

Para ésta especie se tomó una muestra sana y una deteriorada, con el objetivo de comparar los testigos y la viruta extraída de las maderas.



Figura 26. Muestra sana de Guayacán Trébol con los testigos extraídos.
Fuente: Los autores.

En el primer intento de la extracción del testigo en esta especie, se observó que salió en segmentos bien definidos (cilíndricos) pero posteriormente se realizó la extracción de otros testigos, obteniendo como resultado, el que se encuentra en la siguiente figura que se ve en buen estado, una madera sana donde su viruta de principio a fin fue gruesa y conservando su color.



Figura 27. a) Testigo de Guayacán Trébol sano; b) Viruta
Fuente: Los autores



En la muestra deteriorada, se realizó una perforación con la broca-sierra, y se observó que el producto extraído consistió en pedazos de astillas, cilindros mal definidos con presencia de porosidades, y viruta que evidenciaba mal estado.

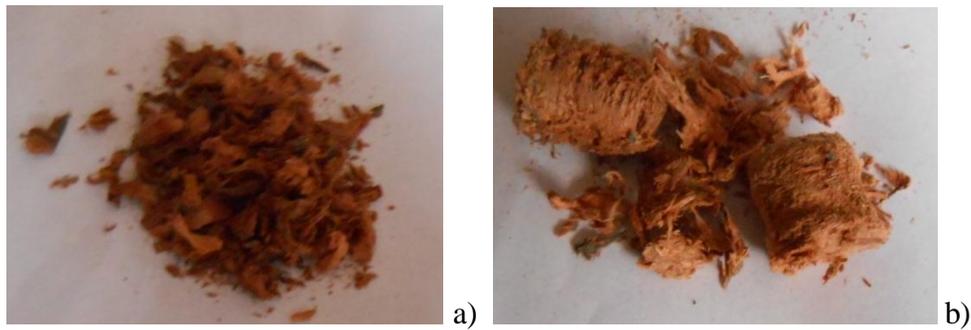


Figura 28. a) Viruta de Guayacán trébol deteriorado; b) Testigo de Guayacán deteriorado
Fuente: Los autores

Se puede evidenciar que los testigos de guayacán trébol en deterioro no presentan buen aspecto, si se comparan con los sanos.

ABARCO Y CARRETO

Para estas especies se tomó una muestra sana y una deteriorada de cada una, con el objetivo de comparar los testigos y la viruta extraída de las maderas.

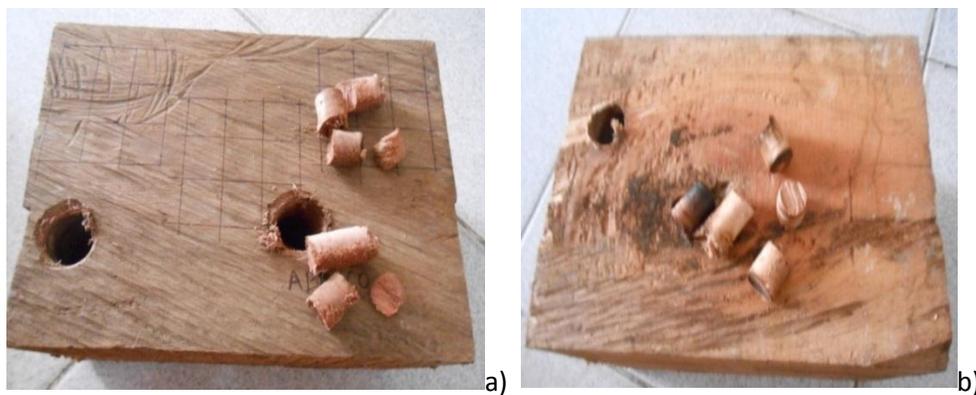


Figura 29. Muestras y testigos extraídos sanos de a) Abarco y b) Carreto.
Fuente: Los Autores.



En estas dos muestras sanas, que corresponden a las especies Abarco y Carreto, los testigos extraídos salieron segmentados, no significando un mal estado de las muestras, ya que al tacto, se pudo identificar que cada segmento del testigo extraído se encontraba sano aparentemente y guardaban una buena apariencia, dando lugar a la conclusión de que algunas muestras presentan naturalmente un clivaje interno por la naturaleza de la madera de estar compuesta por capas, presentando de ésta forma planos débiles que al ser intervenidos con la broca-sierra, fallan.

En las muestras deterioradas, se realizaron perforaciones en las que el producto extraído consistió en pedazos de astillas, cilindros mal definidos con presencia de porosidades, y viruta que evidenciaba mal estado.



Figura 30. a) Viruta de carreto en mal estado; b) Testigos de carreto en mal estado.
Fuente: Los Autores.



Figura 31. a) Viruta de Abarco en mal estado; b) Testigos de Abarco en mal estado.
Fuente: Los Autores.



Se puede evidenciar que los testigos tanto de Carreto como de Abarco en deterioro no presentan buen aspecto, si se comparan con los sanos, puede decirse que la viruta del Abarco incluso tenía aspecto de compostaje.

En todas las muestras deterioradas, en el momento de penetrarla con la broca-sierra, se observó que la broca entraba fácilmente y no oponía tanta resistencia como lo hacían las muestras sanas, lo que conllevó a que no se diera lugar a la aparición de humo, producto de la excesiva fricción.

9.4. ELABORACION DE XILOTECA

De las muestras de cada una de las especies de madera más utilizadas como elemento estructural permanente en la ciudad de Cartagena, obtenidas de los depósitos de madera; Se logró reducir el tamaño de las mismas a unas dimensiones de 9cm de longitud, 4.5 cm de ancho y 1 cm de espesor, esto se llevó a cabo con un proceso de carpintería donde se cortaron, pulieron y lijaron con el fin de plasmar junto con su ficha técnica en un mostrador de madera todas las muestras formando así una xiloteca.

El objetivo de esta xiloteca es ponerla en disposición en la biblioteca de la Universidad de Cartagena para que todas aquellas personas que deseen hacer una consulta bibliográfica logren recopilar y adquirir la mejor información posible, y además podrá apreciar todas las características organolépticas de las muestras.

Es importante resaltar que el proceso de carpintería anteriormente mencionado, se realizó en una maquina bastante rustica por lo tanto se tomaron todos los cuidados pertinentes y la manipulación de la maquina fue ejecutado por una persona de gran experiencia y experta en el tema (Rodrigo sanchez).



Figura 32. Cortes de las muestras con la sierra
Fuente: Los Autores



Figura 33. Corte de las muestras con serrucho de
corte fino, para una longitud deseada
Fuente: Los Autores



Figura 34. Muestras con el tamaño adecuado, listas para pulir
Fuente: Los Autores



Figura 35. Proceso de pulido y elemento terminado.
Fuente: Los Autores.



10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al analizar tanto la información secundaria recopilada, como la primaria obtenida, se puede observar que los resultados de la presente investigación, se deben discriminar teniendo en cuenta la parte cuantitativa y la cualitativa.

10.1. RESULTADOS CUANTITATIVOS

Los distintos valores obtenidos mediante el ensayo del esclerómetro, se encuentran significativamente relacionados con las densidades de cada especie de madera, tal como se muestra en la tabla 7 Y en el gráfico 3.

Tabla 7. Datos de densidad y lectura obtenida en el esclerómetro por especie
Fuente: Los Autores.

Especie	Densidad	Lectura promedio en Esclerómetro
Guayacán Polvillo	0.92	14.48
Nazareno	0.89	22.67
Puy	0.85	14.78
Guayacán Trébol	0.78	15.37
Carreto	0.77	15.41
Abarco	0.55	13.56

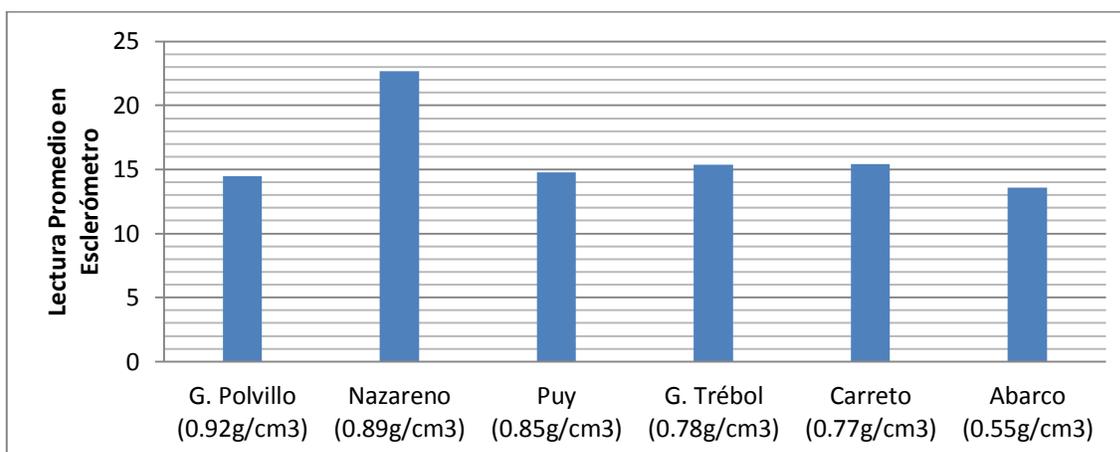


Gráfico 3. Relación entre la lectura promedio del esclerómetro Vs densidad
Fuente: Los Autores.



Puede observarse que el Guayacán Polvillo, a pesar de ser el de mayor densidad, no obtuvo un promedio de lecturas muy alentador, esto puede deberse a que la pieza ensayada no estaba en las mejores condiciones, o a errores al implementar el esclerómetro, sin embargo, el valor de la lectura promedio se encuentra en un rango normal según las especies estudiadas, ya que éstas varían entre 14 y 16, exceptuando al Nazareno, que presentó unos valores significativamente altos que pueden atribuirse a su densidad, y al Abarco, ya que sus valores fueron los más bajos, coincidiendo con el criterio de que las características mecánicas están estrechamente relacionadas con la densidad (Escobar & Ricardo, 1995).

Una de las limitaciones puede ser el rango del esclerómetro con el cual se realizaron los ensayos, el cual oscilaba entre 100-600 Kg/cm², lo cual puede hacer que se excluyan valores interesantes al momento de evaluar una estructura de madera, y poder dar un diagnóstico más preciso. Se recomienda usar un esclerómetro de menor rango de esfuerzo, o mejor aún, un tipo de esclerómetro que se use específicamente en madera, con el objetivo de facilitar la inspección a edificaciones de valor histórico, sin comprometer la integridad de las estructuras.

10.2. RESULTADOS CUALITATIVOS

Hacen parte de éstos resultados, tanto las fichas técnicas con la caracterización y clasificación de las maderas estudiadas, como los resultados de inspección de elementos de madera usando la broca-sierra y otros medios de observación.

De la ficha técnica elaborada, se puede analizar que cuenta con recomendaciones de gran importancia a la hora de decidir si una especie de madera es apta o no para una actividad en especial, y que presenta la información necesaria para dar un apoyo sólido en lo concerniente a las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

En cuanto a los ensayos de inspección semidestructivo (con la broca-sierra) a elementos estructurales de madera tanto sanos como deteriorados, se pudo observar que permite obtener resultados tangibles del estado representativo de una determinada zona del



elemento estructural que se esté analizando. Otro aspecto importante de éste tipo de ensayo es que mediante su implementación, se puede observar tanto en el interior del agujero, para identificar si hay o no presencia de agentes xilófagos o huéspedes en la pieza de madera, mediante la inspección con linterna, como en la superficie del cilindro extraído, para realizar ensayos rápidos como el de someter a corte el segmento y verificar si presenta índices de daños o anomalías que representen un estado de deterioro. Es importante resaltar que en las muestras sanas al momento de la penetración para sacar el testigo oponen mucha resistencia debido a su buen estado y por características de ser una madera recia dando como resultado humo durante el proceso; en algunos especímenes las muestras extraídas salieron completas y en otros salieron segmentadas no diciendo con esto que se encuentran en mal estado esta segmentación pudo haber sido producto de que la madera es anisotrópica (presenta diferentes características según la dirección de estudio); porque existe fractura propia de la madera producto de una especie de clivaje (planos de debilitamiento propios de los materiales que están compuestos por capas en este caso de las fibras), o simplemente por el corte que le concibieron inicialmente, entre otras; y al tacto las muestras tenían buen aspecto visualmente y bien consolidadas. En cuanto a las maderas deterioradas el producto de la extracción consistió en unos testigos mayormente destrozados, muy porosos, bofos y con apariencia de corcho, acompañados de una viruta que denotaba un mal estado de la madera visualmente.

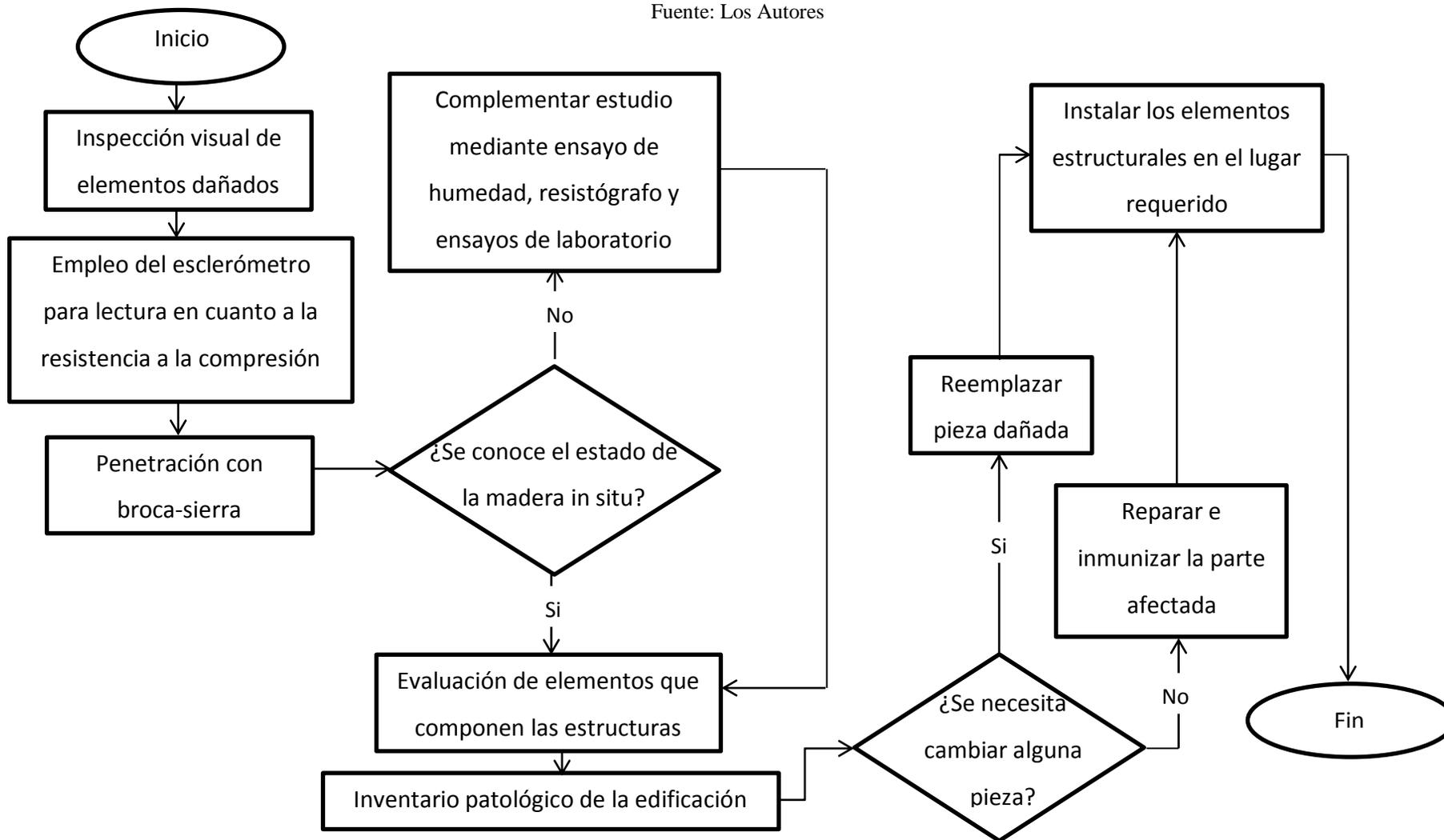
Por otro lado, los métodos de inspección tradicional, como el llamado ojo clínico, y punzonamientos de la estructura en estudio, resultan de mucha utilidad, ya que la madera cuando entra en un estado de deterioro, se debilita rápidamente y haciendo que sus características tanto físicas como mecánicas, se alteren de manera negativa.



10.3. DIAGRAMA PARA LA SANIDAD DE ESTRUCTURAS EN MADERA

Consiste en uno de los aportes más importantes, ya que con esto se pueden realizar un protocolo de inspección y reparación.

Diagrama 2. Sanidad de estructuras en madera
Fuente: Los Autores





11. CONCLUSIONES

Las especies de madera que más se utilizan en la ciudad de Cartagena como elementos estructurales permanentes son: Abarco, Carreto, Guayacán Polvillo, Guayacán Trébol, Nazareno y Puy.

Según la clasificación y caracterización de las maderas, Existe una relación directa de la densidad con las propiedades mecánicas, es decir, a mayor densidad, mayor resistencia, haciendo que por lo general las maderas densas sean más durables que las maderas livianas. Generalmente las maderas densas, son difíciles para trabajarlas, secarlas y para su inmunizado.

El promedio de lectura en el ensayo del esclerómetro para las seis especies de madera fue de 16 (magnitud adimensional), lo que indica que una madera que arroje éstos resultados en una inspección patológica, podría estar en buenas condiciones a nivel estructural.

La resistencia a la compresión de cada muestra estimada mediante el esclerómetro, no puede ser comparada con las estipuladas en la guía técnica de maderas elaborada por (Escobar & Ricardo, 1995) , debido a que el método empleado experimentalmente en el presente estudio, consistió en una aplicación de un instrumento destinado al concreto, sobre la madera, con el objetivo de evaluar los resultados obtenidos y relacionarlos con las densidades correspondientes, mientras que el otro estudio fue llevado a cabo con probetas normalizadas y el equipo destinado para tales fines.

Fue desarrollada una metodología de inspección para elementos estructurales en madera, que incluye las siguientes acciones: inspección visual, estimación de propiedades mecánicas haciendo uso del esclerómetro y detección de pudriciones mediante el empleo de equipos semidestructivos como la broca-sierra.

Para el ensayo semidestructivo del diagnóstico patológico, se observaron testigos completos, y en algunos especímenes, se presentó la segmentación de los testigos extraídos,



no queriendo de decir que las muestras se encontraban débiles o en estado de deterioro, ya que al momento de revisar mediante el tacto e inspección visual del testigo y la viruta, se observó una buena apariencia y resistencia de las partes cilíndricas, por tal motivo, se recomienda no dejarse llevar sólo por la forma como sale el testigo, en éste caso la segmentación, sino analizar cuidadosamente el estado de cada uno de éstos, tanto en los extremos de dichos segmentos, como en toda su longitud, e incluso observar la apariencia de la viruta.

En una muestra deteriorada, el testigo sale en mal estado, generalmente bofo y con aspecto de corcho, también puede notarse un cilindro muy poco definido, e incluso entremezclado con la viruta, haciendo difícil la distinción entre la viruta y el testigo.

En comparación con el estudio realizado por (Matute & Ayola, 2013), se destacó la importancia de éste proyecto, debido a que se logró un complemento en cuanto al estudio de las maderas recias, por la realización de ensayos poco comunes en elementos estructurales de madera que se ejecutaron durante el proceso de desarrollo de la investigación.

Es de gran utilidad realizar una inspección acústica a los elementos estructurales de madera mediante la ayuda de un fonendoscopio, ya que éste permite identificar el sonido característico de una pieza que está debilitada, al cual se le denomina “sordo”, y es totalmente diferenciable del sonido “seco”, producto de una estructura rígida y en buen estado.

La presencia de humedad en la madera entre el 20% y el 140%, genera un ambiente propicio para el crecimiento de hongos y la subsistencia de agentes bióticos, que pueden ser xilófagos o huéspedes.



Las cabezas de las vigas son generalmente las partes más afectadas en una estructura de madera empotrada al concreto, debido a los cambios de humedad que éste presenta por su condición de higroscopicidad.

Siguiendo la metodología propuesta en el inicio del proyecto y en estudios previamente desarrollados, se logró caracterizar, clasificar y efectuar posibles diagnósticos patológicos que puede presentar la madera. Cumpliendo con uno de los objetivos, se ha logrado dejar en disposición en la Universidad de Cartagena una xiloteca y una guía técnica de gran aporte en cuanto a la aplicación de las maderas recias en el campo estructural e implementar métodos no destructivos y semidestructivos para realizar inspecciones in situ del estado de las estructuras de madera y así determinar resultados cuantitativos y cualitativos de los especímenes.

12. RECOMENDACIONES

Para obtener mejores resultados en lo que se refiere a ensayos no destructivos de inspección in situ a elementos estructurales de madera, se recomienda usar un esclerómetro de menor rango de esfuerzo, o mejor aún, un tipo de esclerómetro que se usa específicamente en madera, dicho esclerómetro es conocido como woodpecker, y se implementa con el objetivo de facilitar la inspección a edificaciones de valor histórico, sin comprometer la integridad de las estructuras.

Al analizar los datos de resistencia a la compresión, estimados mediante el uso del esclerómetro y compararlos con datos de ensayos convencionales, se observa una diferencia considerable, por lo cual no se recomienda tomar como valores de resistencia a la compresión, los calculados según la curva del gráfico 2, sin embargo, es válido tener en cuenta los valores de lectura del esclerómetro, debido a que representan un índice del estado en el que se encuentra el elemento de madera en estudio.

Se recomienda aplicar las normas de seguridad industrial consignadas en éste documento al momento de trabajar en los ensayos de extracción de testigo con la broca sierra, ya que



representa un nivel de dificultad medio a alto al efectuarlo, por las dimensiones de dicha herramienta, más aún porque se trata de un ensayo in situ, que requiere de sumo cuidado si se está trabajando a más de 1.5m de altura. Importante hacer uso de andamios, arnés de seguridad y elementos de protección personal tales como: gafas, casco, guantes, protección auditiva y mascarilla para polvo, con el fin de evitar accidentes y cumplir con las normas de Higiene y Seguridad industrial.

De acuerdo al desarrollo de los objetivos específicos planteados para llevar a cabo ésta investigación, se tienen las siguientes recomendaciones:

Debido a su alta resistencia, duración y resultados en los ensayos practicados, se recomienda usar como elementos estructurales permanentes, las especies de madera Nazareno y Puy.

Es de gran importancia la aplicación de inmunizantes sobre los elementos de madera que vayan a ser puestos en servicio en una obra de construcción o restauración, con el objetivo de prevenir el ataque de agentes xilófagos tempranamente.

Es recomendable tener en cuenta las guías técnicas producto del presente estudio, ya que poseen información relevante al momento de decidir qué especie de madera recia implementar en una obra civil, dependiendo de las exigencias y requerimiento de dicha obra.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ale, J. (2010). Aplicación de la Mecánica de Materiales la Madera. *Aplicación de la Mecánica de Materiales la Madera*. Cordoba, Argentina.
- Andino, g. (1984). *Manuel de diseño para maderas del grupo Andino*. Lima, Perú.
- Arriaga et al. (2002). Intervención en estructuras de madera. En f. Arriaga, F. Peraza, M. Esteban, I. Bobadilla, & F. García. Madrid: AITIM.
- Avent, R. (1984). Decay, Weathering and Epoxy Repair of Timber. *Journal of Structural Engineering*, vol. 111.
- Ayola, J., & Matute, M. (2013). Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera utilizada como viga de entrepiso en las viviendas coloniales del centro histórico de la ciudad de Cartagena. Cartagena, Colombia.
- Bergman et al. (2010). Wood Handbook. En R. Bergman, Z. Cai, C. A. Clausen, M. Dietenberger, R. H. Falk, C. R. Frihart, y otros, *Wood Handbook - Wood as engineering material*.
- Bsasterra, A., Casado, M., Acuña, L., & Pizano, O. (2006). Techniques of pseudo-non Destructive testing on structural wood by extraction of screws. *RECOPAR*, 37-59.
- Cabañas. (2009). *Cabañas Rurales familiares S.A.* Recuperado el 08 de 2013, de <http://www.casetasdejardin.com/productonatural.htm>
- Cabarcas, & Mejía. (2004). La madera como elemento de la construcción colonial española en Cartagena de Indias, siglo XVI a XVII, un enfoque desde la ingeniería civil moderna. Cartagena, Colombia.
- Cabarcas, B., & Mejía, G. (2004). La madera como elemento de la construcción colonial española en Cartagena de indias siglo XVI a XVIII un enfoque desde la ingeniería civil moderna.
- Cartagena Caribe, 2. (2012). Obtenido de <http://www.cartagenacaribe.com/ggeneral/cartagena-colombia.htm>.
- Cruz, J. (2010). *Manual para la protección contra el deterioro de la madera*. Morelia, México.



- Delgado, A., de Brito, J., & Silvestre, J. (2012). Inspection and diagnosis system for wood flooring. *Journal of Performance of Constructed Facilities*.
- Dokesim. (2003). *Biología de Anobium Punctatum*. Recuperado el 08 de 2013, de Dokesim: <http://www.dokesimddd.com/biologia/anobium-punctatum.php>
- Ecoespacio, I. m. (2010). *Ecoespacio, Ingeniería medioambiental*. Recuperado el 08 de 2013, de <http://www.ecoespacio.es/actividades/control-de-plagas/termitas/>
- EPA, f. d. (septiembre de 2009). *epacartagena.gov.co*. Recuperado el 19 de agosto de 2013, de Establecimiento publico Ambientasl (EPA): <http://www.epacartagena.gov.co/index.php/es/sala-de-prensa/noticias/219-epa-cartagena-y-el-ministerio-de-ambiente-y-desarrollo-sostenible-capacitan-a-los-comercializadores-de-madera-de-la-ciudad>
- Escobar, O., & Ricardo, J. (1995). *Las maderas en Colombia*. Medellín: Marín Vieco Ltda.
- Fernández, R. (1992). *Materiales estructurales en las obras civiles*. Popayán, Colombia.
- Fritz, A. (2010). *La construcción de viviendas en madera*.
- Hermoso, E. (2011). *Caracterización mecánica de la madera estructural de pinus sylvestris*.
- Hermoso, E., Baso, C. j., J, G., r, D., J, c., & O, G. (2007). *Caracterización de la madera de eucalyptus globulus para uso estructural*.
- Hermoso, E., Carballo, J., & Fernández-Golfín, J. (2007). *caracterización estructural de la madera de pinus radiata d. don del pais vasco (españa) acorde a las modificaciones normativas*. Españan.
- Hron, J., & Yazdani, N. (2011). *Nondestructive Strength Assessment of In-Place wood utility poles*. *American Society of Civil Engineers*.
- IDEAM, P. d. (2010). *IDEAM*. Recuperado el 19 de agosto de 2013, de Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM): <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/cartage/temperatura.htm>
- Jaramillo, O. (2012). *Ingeniería Estructural I*. Recuperado el 08 de 2013, de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/index.html>
- Keenan, J., & tejada, M. (1987). *Maderas tropicales como Material de construccion en los paises del grupo Andino de America del sur*. Cartagena: International development research centre.



- Keenan, J., & Tejada, M. (1987). *Maderas Tropicales como Material de construcción en los países del Grupo Andino de América del Sur*. Cartagena: International Development Research Centre 1987.
- López, R., Michael, A., Sanford, T., & Goodell, B. (2005). Repair of wood piles using prefabricated fiber-reinforced polymer composite shells. *Journal of performance of constructed facilities*.
- Matute, J., & Ayola, J. (2013). Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera utilizada como viga en las viviendas coloniales del centro histórico de la ciudad de Cartagena. Cartagena.
- NSR-10 b, 2. (2010). NSR(Norma sismo resistente Colombiana)-10, Título G, Capítulo G.11.4.6.
- NSR-10 c, 2. (2010). NSR(Norma sismo resistente Colombiana)-10, Título G, Capítulo G.11.4.4. Colombia.
- NSR-10 d, 2. (2010). NSR(Norma sismo resistente Colombiana)-10, Título G, Capítulo G.11.4.7. Colombia.
- NSR-10, C. (2010). NSR(Norma Sismo resistente Colombiana)-10, Título G, Capítulo G.11.4.5. Colombia.
- Piter, J. (2003). Clasificación por resistencia de la madera aserrada como material estructural. Desarrollo de un método para el *Eucalyptus grandis* de Argentina. *Clasificación por resistencia de la madera aserrada como material estructural. Desarrollo de un método para el Eucalyptus grandis de Argentina*. La Plata, Argentina.
- Rehabend. (2013). Metodología para la inspección, evaluación y diagnóstico mediante técnicas no destructivas del estado estructural de puentes de madera en España.
- Sánchez, R. (2009). La madera, material por excelencia. *Presentación*. Colombia.
- Slingh, J., & White, N. (1997). Timber decay in buildings: Pathology and Control. *JOURNAL OF PERFORMANCE OF CONSTRUCTED FACILITIES*.
- Tortorelli, L. (2009). *Maderas y bosques argentinos*. Buenos Aires, Argentina.
- Universidad Católica del Norte, C. (2012). *Materiales de Construcción*. Recuperado el 08 de 2013, de



<http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/Propiedades%20f%EDsicas3.htm>

Universidad Tecnológica Nacional, F. d. (1988). Maderas, Apuntes del centro de Estudiantes. En F. d. Universidad Tecnológica Nacional, *Maderas, Apuntes del centro de Estudiantes*.

USC. (ENERO de 2008). Manual de Higiene y Seguridad Industrial. *Manual*. Santiago de Cali, Colombia.

Zanni, E. (2004). *Degradación y rehabilitación de estructuras de madera*.