



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis para obtener el grado de:

INGENIERO CIVIL

“LA MADERA, SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y USOS
EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES”

Presenta:

Heberto Ponce de León Rodríguez.

Director de Tesis:

José Antonio Espinoza Mandujano

Índice

Resumen	VIII
Abstract	IX
Planteamiento del problema	X
Justificación	XI
Aportes	XII
Hipótesis	XIII
Objetivos	XIII
General	XIII
Específicos	XIII
1 Introducción	1
Antecedentes e historia de la madera	1
2 Recursos de México	5
Deterioro forestal	8
3 Principales países productores de madera	12
4 La madera a lo largo de la historia	17
4.1 Primeros tiempos	17
4.2 La Edad Media	19
4.3 Los primeros usos de la madera en México	20
4.4 Periodo clásico	21
4.5 Norte de Europa	22
4.6 Renacimiento	22
4.7 Inicios de la época moderna	22
4.8 Transformación de los puentes de madera a lo largo de la historia	23
5 La madera, derivados y propiedades	27
5.1 Estructura de la madera	27
5.2 Maderas coníferas y frondosas	30
Maderas coníferas	30
Maderas frondosas	31
5.3 Propiedades de la madera	32
Propiedades físicas	32
Propiedades mecánicas	35

Propiedades especiales	37
5.4 Veteado de la madera	38
5.5 Formas de aserrar un tronco	40
5.6 Defectos de la madera	45
5.7 Parásitos vegetales	49
5.8 Insectos xilófagos	49
5.9 Derivados de la madera	51
6 Ventajas y desventajas de la madera	70
6.1 Ventajas de la madera en la construcción	71
6.2 Desventajas de la madera en la construcción	74
7 Tratamientos para la madera	75
7.1 Intemperismo	75
7.2 Humedad de la madera	76
7.3 Higroscopicidad de la madera	77
7.4 Clases de riesgo para la madera	78
7.5 Tratamiento preventivo	80
7.5.1 Técnicas sin presión	82
7.5.2 Técnicas con presión	83
7.6 Protección contra fuego	84
8 Propiedades mecánicas de la madera estructural	89
9 Armaduras	100
9.1 Armaduras simples	102
9.2 Armaduras espaciales	102
9.3 Tipos de armaduras	103
9.4 Diseño de una armadura	110
9.4.1 Separación entre armaduras	110
9.4.2 Elección del tipo de armadura y número de paneles	110
9.4.3 Determinación de cargas	111
9.4.4 Cálculo de fuerzas y momentos	111
9.4.5 Dimensionamiento de los miembros	111
9.4.6 Dimensionamiento de juntas	112
9.4.7 Deflexiones	112
9.4.8 Contraventeo	112

9.4.9 Pendientes	113
10 Tipos de conexiones para madera	114
10.1 Clavos y grapas	114
10.2 tornillos y pijas para madera	127
10.3 Pija hexagonal Hillman	133
10.4 Pernos	134
10.5 Placas	140
10.6 Pegamentos	145
11 Proceso constructivo	153
Conclusiones	164
Bibliografía	166

Índice de imágenes

Imagen 1. Riqueza forestal en México.....	7
Imagen 2. Inventario nacional forestal y de suelos.....	7
Imagen 3. Bosques en el mundo.	12
Imagen 4. Viviendas Neolíticas.....	18
Imagen 5. Reconstrucción de elementos Neolíticos.....	19
Imagen 6. El primer puente de Roma (Puente Sublicio).....	21
Imagen 7. Lejonströmsbron en Skellefteå, construido en 1737.....	24
Imagen 8. Puente colgante en Dala-Järna, construido en 1924.....	26
Imagen 9. Puente keystone wye, en.....	26
Imagen 10. Partes de un tronco.....	28
Imagen 11. Tipos de veta de la madera.	39
Imagen 12. Cortes de un tronco	44
Imagen 13. 52 tipos de madera y los árboles.....	44
Imagen 14. Defectos de la madera.....	48
Imagen 15. Aglomerados.....	54
Imagen 16. MDF enchapado de nogal, encino y okume.	56
Imagen 17. Contrachapados.....	57
Imagen 18. MDF.	59
Imagen 19. Triplay laminado.....	61
Imagen 20. Tablero Finger.....	61
Imagen 21. HDF natural.....	62
Imagen 22. Laminados decorativos.	63
Imagen 23. Melaminas.....	64
Imagen 24. OSB.	65
Imagen 25. Bambú.....	69
Imagen 26. Material y energía requerida.	71
Imagen 27. Ciclo de la madera.	73
Imagen 28. Reciclaje de la madera.	73
Imagen 29. Curva esfuerzo-deformación.....	91
Imagen 30. Curvas esfuerzo-deformación unitaria en tensión y compresión.	92
Imagen 31. Diagrama de carga-deformación.	93
Imagen 32. Distribuciones de esfuerzos en miembros sometidos a flexión creciente.....	94

Imagen 33. Flexión de la madera.	94
Imagen 34. Cortante de la madera.	96
Imagen 35. Tracción paralela a la fibra.....	97
Imagen 36. Compresión paralela a la fibra de la madera.	97
Imagen 37. Tracción perpendicular a la fibra de la madera.....	98
Imagen 38. Compresión perpendicular a la fibra de la madera.	99
Imagen 39. Partes de una armadura.	102
Imagen 40. Armadura tipo "A".....	104
Imagen 41. Armadura de Montante Maestro.	104
Imagen 42. Armadura tipo Pratt.....	104
Imagen 43. Armadura tipo Howe.	105
Imagen 44. Armadura tipo Warren.....	105
Imagen 45. Armadura de cuerda y arco.	106
Imagen 46. Armadura tipo Fink.....	106
Imagen 47. Armadura tipo Mansard.	107
Imagen 48. Armadura tipo tijera.....	107
Imagen 49. Armadura tipo diente de sierra.....	107
Imagen 50. Armadura tipo Polonceau.	108
Imagen 51. Thermochip housing.	113
Imagen 52. Galería tradicional.....	115
Imagen 53. Tipos de tornillos.....	131
Imagen 54. Propiedades tornillos spax.....	132
Imagen 55. Pija negra.....	133
Imagen 56. Pija hexagonal Hillman.	133
Imagen 57. Pernos cabeza hexagonal.	135
Imagen 58. Armadura tipo "A" con pernos.....	135
Imagen 59. Estructura de celosía.	135
Imagen 60. Truss galery.	136
Imagen 61. Useless Bay by Hoedemaker Pfeiffer.	136
Imagen 62. Rondana plana.....	140
Imagen 63. Placa dentada.	144
Imagen 64. Placas de acero.	144
Imagen 65. Decorative hardware.....	144
Imagen 66. Custom Steel Truss Plates.	144
Imagen 67. woodconnectors/category.....	145

Imagen 68. Steel joint.	145
Imagen 69. Empalme.	147
Imagen 70. Ensamblés.	147
Imagen 71. Uniones de madera.	148
Imagen 72. Center post scarf in Timber Framing_Log construction.	151
Imagen 73. Hammer Beam Timber Frame Plan.	151
Imagen 74. Collin Beggs Design Build Timber Framing.	152
Imagen 75. Kautzer Craftsmanship Home page.	152
Imagen 76. Pernos de anclaje.	153
Imagen 77. Espiga.	153
Imagen 78. Caja.	154
Imagen 79. Detalle ensamble pegado al muro.	154
Imagen 80. Detalle ensamble frente.	154
Imagen 81. Detalle ensamble planta.	155
Imagen 82. Material imprégnate.	156
Imagen 83. Área a cubrir.	156
Imagen 84. Primera vigueta.	156
Imagen 85. Pérgola terminada.	157
Imagen 86. Vista superior de la pérgola.	157
Imagen 87. Vista inferior de pérgola.	158
Imagen 88. Pérgola iluminada.	158
Imagen 89. Canteo del elemento.	159
Imagen 90. Lijado de los elementos.	159
Imagen 91. Ensamble a media madera.	160
Imagen 92. Material imprégnate.	160
Imagen 93. Superficie de la pérgola.	161
Imagen 94. Anclaje elemento derecho.	161
Imagen 95. Colocación de viguetas.	161
Imagen 96. Colocación de tiras fondo.	162
Imagen 97. Colocación de tiras frente.	162
Imagen 98. Pérgola terminada.	162
Imagen 99. Vista superior de pérgola.	162
Imagen 100. Vista fachada frontal de pérgola.	163
Imagen 101. Vista panorámica de pérgola.	163

Índice de tablas

Tabla. 1: Clases de riesgo, tomada de: Patología de la madera, Zanni Enrique.....	79
Tabla 2. Valor de “k”.	137
Tabla 3. Valores de “k2” y “k3”.....	138

Resumen

A través del estudio, este proyecto es de carácter introductorio al diseño de estructuras de madera, tiene un contenido teórico, técnico y práctico. En el contenido teórico se muestra la historia del uso de las estructuras de madera utilizadas en las primeras civilizaciones realizadas por el hombre hasta la actualidad; también, se abordan temas como los recursos con los que cuenta México como productor de madera, así como los principales países productores de madera y sus derivados.

Se abordan temas importantes como los tipos de maderas que existen, los productos derivados de la madera, propiedades físicas, mecánicas, especiales y estructurales, veteado, formas de aserrar un árbol, tratamiento contra agentes biológicos, tratamiento de curado y humedad, ventajas en la construcción que tiene sobre otros materiales, conservación contra agentes climáticos y de tiempo; así como nociones sobre armaduras, aplicaciones estructurales, tipos de conexiones, entre otros.

La parte técnica se basa en las NTC 2017 (Normas Técnicas Complementarias) del apartado para diseño y construcción de estructuras de madera, donde se encuentran diversos parámetros importantes para el diseño de estructuras de madera, así como propiedades mecánicas de la madera.

El contenido práctico es ejemplificado con algunos proyectos desarrollados a partir de la experiencia personal, los cuales, se describen en cada una de sus etapas.

Lo que se pretende mostrar, con este proyecto, es la existencia de nuevas alternativas de construcción con elementos de madera, los cuales cuentan con un gran número de ventajas, entre las cuales se encuentra que es reciclable, reutilizable y con ello permite llevar una mejor calidad de vida, evitando gran número de contaminantes.

Palabras clave: Historia de la madera, contaminación, renovable, derivados, propiedades.

Abstract

Through the study, this project is an introduction to the design of wooden structures. It has a theoretical, technical and practical content. The theoretical content shows the history uses of wooden structures; structures that men made and used in the first civilizations until nowadays; resources that Mexico has as a wood producer, as well as the main producing countries of wood and its derivatives.

Important topics such as the types of woods that exist, wood derivatives, structural properties, grain, ways of sawing a tree, treatment against biological agents, curing and humidity treatment, advantages in construction that it has over other materials, conservation against climatic and weather agents, notions about reinforcement, structural applications, types of connections and others.

The technical part is based on the NTC 2017 (complementary technical standards), the section for design and construction of wooden structures, where various important parameters are found for physical, mechanical and special design of wooden structures, as well as mechanical properties of timber.

The practical content is exemplified with some projects developed from personal experience which are described in each of their stages. The intention of this project is to show the existence of new construction alternatives with wooden elements that have a large number of advantages, for example that it's recyclable and reusable, so allow us to bring open and Clean Word.

Planteamiento del problema

En la contaminación que tenemos actualmente en nuestro planeta, a causa del mal uso de nuestros recursos, se puede poner como ejemplo la producción de cemento; en la cual, para la extracción de la piedra caliza y otros materiales, se provoca una enorme erosión al área de las canteras, también, una producción de gran cantidad de polvos provocados por el triturado de la piedra. En la planta de elaboración la emisión de contaminantes al aire como monóxido de carbón, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas muy fina.

Agregando a lo anterior, el clínker que se usa en su elaboración del cemento puede contener metales pesados y otros contaminantes que si se desecha en los bancos de material o en el relleno sanitario puede contaminar los mantos de aguas subterráneas. Por otro lado, el acero en el momento de su elaboración produce sustancias gaseosas como óxido de azufre, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono; además, de las partículas de hollín y polvo, que pueden contener óxidos de hierro, las emisiones de los hornos de coque son de sus principales problemas medioambientales.

Esto nos lleva al uso de materiales renovables en la construcción con el objetivo de contaminar lo menos posible con materiales como la madera y sus derivados.

Justificación

La idea del proyecto surge a partir de conocer los contaminantes que causa el cemento al ser elaborado, cosa que sucede, también, en la producción del acero. La madera al ser un recurso natural y renovable pudiera ser una gran opción al momento de construir; además, de tener múltiples ventajas como su volumen, su peso, rapidez de ejecución, rápido montaje y desmontaje. La generación de residuos tóxicos, que son prácticamente cero en una estructura de madera, la complejidad en ejecución no es elevada, y una de sus principales características es la belleza que posee en las vetas.

Aportes

Con las nuevas técnicas que existen hoy en día, aplicados a los tratamientos de la madera, hacen de ésta un material más duradero que conserva sus propiedades, pudiendo renovarse con un simple proceso de mantenimiento, lo que la llevan a ser un material reutilizable, recuperable y reciclable. Debido, también, a su estructura celular la madera es un excelente aislante térmico, que evita cambios bruscos de temperatura, reduce las necesidades de calentar o enfriar el ambiente y es un buen aislante acústico por su composición en lignina y celulosa, lo que le permite absorber gran parte de la energía de las ondas que recibe.

Con lo dicho anteriormente, se pueden realizar estructuras de madera, y con ello, reducir gran parte de la contaminación que causa de la utilización de acero y de cemento.

Hipótesis

En el presente trabajo se pretende resolver el diseño de uniones en maderas de manera dinámica, que logre integrarse a su contexto e impulse a los usuarios a considerar este material como elemento estructural.

Se llevará al límite la funcionalidad a la hora de diseñar cada elemento para lograr mayor resistencia y duración sin dejar de lado las cuestiones estéticas de la madera.

Objetivos

General

Determinar las características que tiene la madera como elemento estructural aplicado a la construcción.

Específicos

- Conocer los tipos de conexiones que puede tener la madera como ensambles o elementos de acero y con ello hacer una comparativa.
- Analizar y evaluar el comportamiento de los elementos de acero y madera para determinar la viabilidad de su uso.
- Describir las propiedades estructurales de la madera, el concepto de armadura, tipos de armaduras y sus aplicaciones.

1 Introducción

Antecedentes e historia de la madera

La madera, probablemente, fue el primer material utilizado por el hombre con fines estructurales y con el paso de los siglos ha seguido desempeñando un papel importante en la construcción de obras de todo tipo. El gran atractivo de la madera proviene de sus cualidades estructurales y visuales. La naturaleza viva de la madera se refleja en lo complejo de su estructura, tanto sus cualidades como sus limitaciones se derivan de su estructura. Las fibras son la característica constitutiva esencial de la madera.

En la actualidad, se observa un interés que va creciendo por la madera debido a sus excelentes propiedades estructurales; además, es un recurso renovable. La madera es el único material vivo que se utiliza en la construcción y por ello mismo es algo menos rígido que otros. En la actualidad, los niveles de contaminación ambiental están muy elevados y el interés por la madera va en aumento, ya que la transformación en material de construcción implica mucho menor consumo de energía y menor contaminación del aire y el agua a diferencia de la fabricación de acero, cemento, aluminio, ladrillos y plásticos. No solo se ahorran energéticos en su fabricación, sino también cuando es transportada, esto debido a su ligereza, agregando que la madera puede funcionar como fuente de energía en caso de llegar a existir una crisis energética.

En muchos países de América Latina, la madera ocupa un lugar muy pequeño entre los materiales empleados en la construcción, esto a pesar que se encuentran con recursos forestales relativamente abundantes. Lo anterior, se debe al desconocimiento de las propiedades de las maderas disponibles y de la forma de aprovechar estas maderas estructuralmente, aunado a la falta de personal capacitado en el área.

Desde el punto de vista estructural la madera tiene indudables ventajas, una de ellas es su ligereza ya que es un material que desarrolla una mayor fuerza de tensión y compresión por unidad de peso, así como su comportamiento a la flexión es muy adecuado. En estas circunstancias compite muy favorablemente con el concreto y el acero.

La madera es muy resistente a los esfuerzos normales paralelos a las fibras, pero es débil ante estas acciones en el sentido perpendicular a ellas, también es baja la resistencia de la madera a esfuerzos cortantes paralelos a las fibras.

Otras ventajas que tiene el uso de la madera, que es un material relativamente fácil de trabajar con herramientas sencillas, lo que hace una gran diversidad de secciones y formas, es su gran capacidad para absorber energía y resistir impactos, su alta resistencia a la fatiga, sus características como aislante, tanto térmico como acústico, y la facilidad con que su superficie puede pintarse. Además, la madera es un material biodegradable que no presenta problemas en la eliminación de los productos de demolición a diferencia de las estructuras de concreto.

Cabe mencionar, también, algunos inconvenientes de la madera como material estructural, uno de ellos es la forma en que la madera se encuentra en la naturaleza, tanto el tamaño como la forma ponen restricciones a las escuadrías posibles, además de sus variaciones volumétricas con los cambios de humedad del ambiente, las deformaciones por carga permanente con el paso del tiempo, el peligro de pudrición por la acción de organismos vivos y el peligro de incendio.

En la actualidad la tecnología moderna ha permitido contrarrestar algunos de estos inconvenientes, así el surgimiento del triplay, madera laminada, madera contrachapada, descritas más adelante, ha hecho posible la creación de elementos estructurales de formas y dimensiones que anteriormente no era posible uniendo piezas con pegamentos, en él mencionamos los recursos para proteger la madera contra ciertos agentes que provocan su

putridión. En el capítulo 10 mencionaremos, también, como se ha podido resolver el problema entre uniones de elementos de madera y el comportamiento de las estructuras de madera ante incendios. Otro punto que preocupa es la duración de la madera.

No obstante, con sus inconvenientes, la madera es un material de indudable interés por su versatilidad estructural, su atractivo visual, su costo aceptable, su característica de ser un material renovable y el bajo consumo de energéticos requeridos para convertir el producto natural en elementos estructurales.

Es probable que el máximo consumo de madera con fines estructurales corresponde a la vivienda y hasta hoy en día, en muchos países, sigue siendo el material predilecto en las construcciones de centros habitacionales, sin dejar de mencionar que éste no ha estado limitado a edificios. La madera se ha empleado también en la construcción de techos de claros considerables para iglesias principalmente, así como de naves industriales.

Los primeros puentes que existieron indudablemente fueron realizados con troncos de árboles y hasta la fecha se construyen puentes provisionales con este material, e incluso permanentes, siempre y cuando no sean de claros muy grandes. Se puede observar, con mucha frecuencia, que los muelles están hechos de madera.

En la ingeniería civil la madera ha representado una parte fundamental en diversas estructuras auxiliares de la construcción tales como andamios, cimbras y obras falsas. Otras aplicaciones estructurales importantes son los durmientes en los ferrocarriles y los postes para líneas telefónicas.

La importancia de la madera, como material estructural, resulta evidente de las breves consideraciones anteriores; sin embargo, en México su uso está muy restringido prácticamente a obras falsas, cimbras, durmientes y postes, siendo poco significativas los demás usos que se le pueden dar.

Las armaduras son estructuras utilizadas frecuentemente por los ingenieros, éstas proporcionan una solución práctica y económica para muchas situaciones de ingeniería, en especial para el diseño de puentes y edificios (Beer, 2007).

2 Recursos de México

El sector forestal en México es poco explotado de manera legal, ya que no se cuenta con la mano de obra especializada, ni con la tecnología para su explotación.

En México existen diversos tipos de climas y por este motivo hay diferentes tipos de bosques como lo son:

- Bosques tropicales, que es donde se dan las maderas preciosas.
- Bosque mixto, donde se pueden encontrar maderas suaves y duras.
- Bosques de coníferas, donde se tienen maderas blandas, en su mayoría.

Datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) muestran que el territorio mexicano tiene 138 millones de hectáreas cubiertas por vegetación forestal, con 64.8 millones arboladas, de las cuales los bosques ocupan casi el 18% del territorio, mientras que las selvas ocupan casi el 16% del territorio nacional.

Los principales bosques se encuentran en:

- Durango
- Chihuahua
- Michoacán
- Oaxaca
- Jalisco

Los bosques mencionados están constituidos, principalmente, por pinos, aunque, también, hay encino blanco, encino colorado, roble, cedro blanco, ocote, abeto, oyamel y ciprés.

Las selvas las podemos encontrar en:

- Campeche
- Quintana Roo

- Tabasco
- Chiapas

En las selvas mexicanas podemos encontrar árboles como cedro rojo y caoba, principalmente; pero también, hay roble, arce, haya, tsuga, castaño, magnolio, tilo, nogal, olmo y ébano.

En la actualidad se cuenta con la suficiente información sobre la productividad de los bosques y selvas mexicanas. El volumen total de la madera en pie de México es de, aproximadamente, 3,100 millones de m³.

La riqueza forestal de México, conforme datos de la Semarnat, se puede dividir de la siguiente manera:

- Bosques: 33,479,806 hectáreas (24.2%)
- Selvas: 29,931,948 hectáreas (21.7%)
- Manglar: 886,561 hectáreas (0.6%)
- Zonas semiáridas: 20,656,309 hectáreas (15%)
- Zonas áridas: 36,272,947 hectáreas (26.3%)
- Otras áreas forestales: 16,232,593 hectáreas (11.8%)
- Otras asociaciones: 581,081 hectáreas (0.4%)

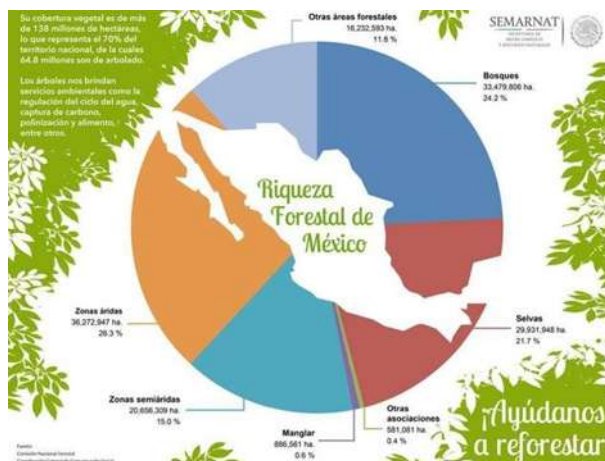


Imagen 1. Riqueza forestal en México.

Fuente: <http://www.travelbymexico.com/blog/16457-la-riqueza-forestal-de-mexico-en-cifras/>

Aunque parezca contradictorio, en México el programa más eficiente, para lograr el objetivo mencionado, tiene que ver con el uso sustentable de los bosques y selvas. En el mundo existen casos que sirven de ejemplo como lo puede ser Finlandia que tiene una superficie forestal tres veces menor a la de México; sin embargo, en México solo se genera la décima parte del valor de producción que en Finlandia. La República Mexicana cuenta con el 70% de territorio forestal y solo el 0.37% cuenta con autorización de aprovechamiento maderable por parte de la Semarnat, como se puede apreciar a continuación.



Imagen 2. Inventario nacional forestal y de suelos.

Fuente: <http://www.maph49.galeon.com/biodiv1/eco4.html>

Deterioro forestal

En las últimas tres décadas, en México, se ha perdido cerca de la tercera parte de la cobertura forestal y lo preocupante es que esto parece aumentar. De acuerdo con resultados publicados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), el 38% de los bosques y selvas mexicanas se encuentran en un nivel de riesgo de deforestación alto o muy alto. Para abonar a lo anterior, el crecimiento desordenado de las manchas urbanas y la demanda de recursos de la población, es cada vez mayor.

Lo importante en todo esto es que, en lugar de depender de una vigilancia constante de los bosques y selvas para mantener el recurso, se deben de aplicar firmemente todas las políticas forestales.

Los principales problemas del programa nacional forestal 2014-2018, que menciona el diario oficial de la federación, son los siguientes 26:

1. Cambios de uso de suelo en forma clandestina.
2. Incremento en la presencia y afectación de incendios forestales de gran magnitud.
3. Problemas de sanidad forestales en bosques sin manejo forestal.
4. Pocas acciones de inspección y vigilancia, así como compleja dictaminación de programas de manejo forestal.
5. No se cuenta con canales de almacenamiento, transformación y distribución de los productos maderables.
6. Deficiente infraestructura de caminos forestales.
7. Baja capacidad para la transformación de madera en pie o en rollo.
8. Rezago tecnológico en la industria de la madera.
9. Bajo nivel de integración productiva en el sector forestal.
10. Dificultades para la comercialización de los productos forestales.
11. Incipiente aprovechamiento comercial de productos forestales no maderables.

12. Falta de acceso a mecanismos de capitalización (inversión y financiamiento).
13. Empresas forestales poco competitivas.
14. Escaso desarrollo de plantaciones forestales comerciales.
15. Insuficientes capacidades de organización planeación y autogestión de las personas propietarias y poseedoras de los recursos forestales.
16. Escasa integración de los actores del sector forestal para la toma de decisiones.
17. Baja participación de mujeres, jóvenes e indígenas en actividades del sector forestal.
18. Deficiente planeación del desarrollo regional en las Unidades de Manejo Forestal.
19. Insuficiente extensionismo con pocas herramientas de promoción.
20. Marco regulatorio complejo.
21. Trámites excesivos para solicitar apoyos forestales.
22. Incertidumbre jurídica.
23. Deficiente vinculación de la oferta de profesionales.
24. Insuficientes conocimientos y técnicas para la transformación de madera en rollo.
25. Falta de investigación y desarrollo de tecnología.
26. Investigación y academia desvinculada de las necesidades del sector forestal.

(PROGRAMA NACIONAL FORESTAL, 2018)

Otro aspecto que afecta la producción de madera en México son los incendios forestales, que en su mayoría se originan por el ser humano (97%, aproximadamente) y los causados por tormentas eléctricas (3%, aproximadamente). En años recientes, el uso de fuego no controlado, en actividades agropecuarias, generó, en promedio, 39% de los incendios forestales. Generalmente estos comienzan inadvertidos, se propagan rápidamente y dañan el recurso natural.

La tala ilegal es otro punto importante, representa el 8% de la deforestación, esto, de acuerdo con datos de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). La producción de madera ilegal representa un 30% del volumen anual autorizado en el país, ésta se asocia a diversos factores como lo son:

- Problemas de gobernanza
- Tenencia de la tierra
- Fallas de aplicación de la justicia

La tala de árboles de manera ilegal, sin una eficiente reforestación, resulta en un daño serio al hábitat, en la pérdida de la biodiversidad y en aridez. Tiene un impacto adverso en la fijación de dióxido de carbono, lo que genera la erosión del suelo.

Sobre la extracción ilegal de madera, esto impacta de manera directa a la producción legal, al ocupar su mercado, con lo que se generan impactos directos sobre la degradación del recurso forestal y la pérdida de especies vegetales que dependen de los bosques y selvas. Una de las causas de la tala ilegal es que la madera clandestina es más barata al no pagar impuestos ni incluir costos de manejo forestal, desplazando con precios bajos a los productores legales.

Finalmente, las plagas y enfermedades forestales son otro aspecto que afecta en la preservación de la calidad y cantidad de los recursos forestales, ya que son agentes que ocasionan daños de tipo mecánico o fisiológico a los árboles, como:

- Deformaciones
- Disminución en el crecimiento
- Debilitaciones o incluso la muerte

Lo anterior, causa un impacto ecológico, económico y social importante. Se reconocen cerca de 250 especies de insectos y patógenos que pueden afectar la arbolada nacional. El cambio climático es un factor que está determinando el comportamiento de los insectos,

patógenos y sus efectos, lo que afecta en los ecosistemas forestales, ya que a causa de grandes sequias, huracanes y nevadas facilitan el ataque de plagas al ecosistema. Concluyendo, estos agentes dañinos tienen impacto negativo sobre el desarrollo y reproducción de la planta, cuyos efectos pueden ser la disminución de fotosíntesis a causa de los patógenos y plagas defoliadoras.

3 Principales países productores de madera

Datos de la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONUAA) la tierra cuenta con 14,800 millones de hectáreas de tierra firme, de las cuales alrededor de 3,454 millones de hectáreas son de bosques naturales y plantados en todo el mundo; lo anterior, según datos del estudio “A Global Overview of Forest Conservation”, realizado por World Conservation Monitoring Centre (WCMC).

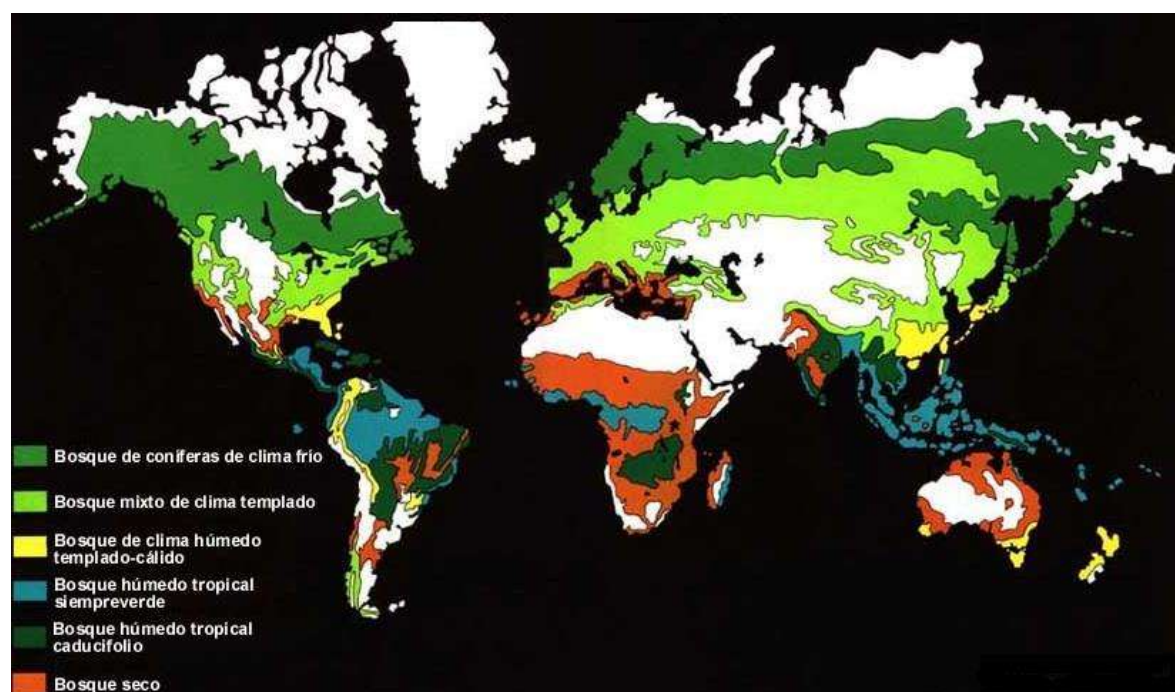


Imagen 3. Bosques en el mundo.

Fuente: <http://www.fao.org/3/k0050s/k0050s04.htm>

Con base al WCMC, en los últimos 8,000 años, aproximadamente la mitad de la cubierta forestal ha sido destruida. De los 3, 454 millones de hectáreas que tenemos hoy en día, solo el 40% son bosques frontera, estos son bosques primarios lo suficientemente grandes para albergar flora y fauna. De los bosques mencionados destacan los de los países de Rusia, Canadá y Brasil que albergan el 70% de la superficie de bosques frontera.

Según datos de WCMC, unos 300 millones de hectáreas están protegidas, siendo estos solamente el 8% de los bosques del mundo.

A continuación, se presenta una lista de los principales países productores de madera. En orden de menor a mayor productor:

9. Chile (6 millones de toneladas)

Chile tiene extensos bosques, que ocupan más del 20.7% de la superficie total del país, cuenta con grandes extensiones de pinos radiata y plantaciones de eucaliptos. Con ello Chile se ha convertido en un importante exportador de papel y productos de madera a los mercados. La mayoría de sus productos se exportan, tales como: madera, troncos y astillas. Los principales mercados para las exportaciones chilenas son a los siguientes países: Japón, Estados Unidos, Corea del Sur, Alemania y Bélgica.

8. Austria (7 millones de toneladas)

La industria de exportación de madera en Austria está muy desarrollada, esto le permite exportar su madera a países como Alemania e Italia, principalmente. En la actualidad, su mercado se ha extendido hacia América y algunos países asiáticos. La elaborada organización de la industria austriaca, basada en la investigación, con prácticas sostenibles y respeto a la naturaleza, es lo que ha dado buenos resultados en la parte de la industria maderera.

7. Brasil (11 millones de toneladas)

Parte del éxito financiero de este país se debe a la parte forestal. Brasil cuenta con la tercera reserva forestal más grande del mundo. La madera se cosecha en los bosques nativos de Brasil y en los plantados comercialmente. Sus principales maderas son: el pino y el eucalipto. La madera cruda, la madera laminada, la madera contrachapada y el papel son sus productos más exportados, estos se envían por todo el mundo, generando grandes ingresos para el país.

6. Rusia (14 millones de toneladas)

En el año 2014 las exportaciones de madera de Rusia crecieron en un 7.9% esto debido a la creciente demanda de países asiáticos como China, principalmente. Al mismo tiempo, los precios son, comparativamente, más bajos en la mayoría de sus productos. Rusia procesa principalmente madera aserrada, pulpa y papel.

5. Alemania (14.5 millones de toneladas)

La industria de la madera en Alemania es desarrollada, ya que éste es el país que tiene una de las mayores reservas de madera de Europa. Alemania exporta alrededor del 30% de la madera aserrada a mercados extranjeros. Este sector emplea alrededor de .2 millones de alemanes.

4. Finlandia (16 millones de toneladas)

Alrededor del 20% de los ingresos de Finlandia se debe a su industria forestal. El sector forestal finlandés genera un 15% de los empleos industriales, siendo esta industria la de mayores generadores de ese tipo de empleo en el país. Exporta, en su mayoría, madera aserrada, laminada y contrachapada. Sus ganancias anuales, en promedio, son de once billones de euros.

3. Suecia (18.5 millones de toneladas)

Más de la mitad del territorio de Suecia está ocupada por bosque, el 55% del territorio total para ser más precisos, siendo el pino y el abedul sus principales maderas comerciales. Es el tercer país exportador de papel y cartón del mundo, produciendo alrededor del 4% de la producción total del planeta.

2. Estados Unidos de América (19.5 millones de toneladas)

En los Estados Unidos hay 150 bosques nacionales con una superficie de 769,000 km², siendo el 8.5% del total de superficie del país. Las exportaciones de productos forestales de

Estados Unidos han crecido notablemente en los últimos años, sus principales mercados son: China, Canadá y México. Este país genera, principalmente, troncos y madera de construcción; sin dejar de lado la producción de pellets, producto que sirve como combustible.

1. Canadá (31 millones de toneladas)

Canadá posee una extensión de casi 10 millones de km², tiene más de 1/3 de los bosques boreales del mundo, la quinta parte de los bosques templados lluviosos del mundo y casi una décima parte de la cubierta forestal mundial. Como en los otros países Canadá no es la excepción de exportación en el mundo ya que exporta alrededor del 47% de la madera, siendo sus principales productos la madera aserrada, pulpa de madera y papel, sus principales consumidores son: Estados Unidos y China.

Así como hablamos de los principales productores de madera es importante conocer los países que mejor reforestan sus bosques, basados en la declaración de Nueva York sobre los bosques (NYDF por sus siglas en inglés,) ya que lo importante de utilizar madera es que ésta sea un recurso renovable.

Los diez países que más árboles siembran en el mundo, según datos de la declaración de Nueva York, son: en los primeros tres lugares encontramos a la India, Etiopía y China, luego de ellos esta México; Brasil, Rusia, Estados Unidos, además de Canadá, sucesivamente, y por último, en esta lista, se encuentra Israel, siendo estos los principales.

Del mismo modo, en que se mencionó a los países que más árboles siembran, en seguida se enlista a los diez países que más sufren de deforestación. El primero es Laos, con una tasa de deforestación de 5.3%, le sigue Portugal con una tasa del 5.6%, Suecia con el 6.2%, Finlandia 6.4%, Nicaragua 6.9%, Camboya 7.1%, Guatemala 8.2%, Indonesia con un 8.4%, Paraguay 9.6% y el país más deforestado es Malasia con una tasa de deforestación anual del 14.4%.

A con todo y eso es importante no solo sembrar la mayor cantidad de árboles, sino crear un equilibrio entre la forestación y la reforestación, tal es el caso de países como Costa Rica, Chile, Gambia, Ghana, Georgia, Túnez y Vietnam, que son los países principales en cuanto al aumento en la superficie forestal que poseen.

4 La madera a lo largo de la historia

4.1 Primeros tiempos

El uso de la madera como material de construcción es probable que se usara antes que la piedra. En las épocas prehistóricas construían sus chozas de ramas cubiertas de pieles de animales o de lodo, aunque debido a que la durabilidad de la madera es relativamente escasa no se han conservado restos de estos refugios. Pero con todo ello existen testimonios que, de manera indirecta, permiten reconstruir características generales. Esto es algo que difícilmente tendremos oportunidad de comprobar debido a la escasa durabilidad sin el tratamiento adecuado; sin embargo, existen testimonios que de una manera indirecta permiten reconstruir las características de una manera generalizada.

Se han llegado a encontrar huellas de elementos de madera en los suelos, la madera ya ha desaparecido, pero queda la marca de que estuvo ahí. Un ejemplo, de lo mencionado, es en la cueva de la Mouthe, en Francia, donde se puede apreciar el grabado de la misma época que muestra una choza aparentemente construida de postes y ramas. Estas estructuras parecen derivar de las chozas desmontables y transportables que debieron ser las primeras viviendas de las tribus nómadas.

A medida que los pueblos se convertían en sedentarios, sus construcciones adquirían características más permanentes, cambiando los materiales como, por ejemplo, las ramas por troncos. La misma naturaleza les indicaba el camino; el árbol caído sugería la viga mientras que el árbol vivo sugiere columna, el empleo de elementos pesados para los muros y techos. Un ejemplo de la época paleolítica es el de las huellas de seis viviendas rectangulares de tres metros de ancho por doce metros de longitud, estos fueron hallazgos sobre el río Desna Timonovka, en Rusia, estas estaban hundidas a tres metros de profundidad, su acceso lo realizaban por medio de unas rampas, las paredes estaban forradas de troncos cubiertos con tierra. A estas

estructuras se les atribuye cerca de 20 mil años de antigüedad, hoy en día, se construyen viviendas semejantes en Siberia, que son muy apropiadas para climas fríos.

En el periodo neolítico ya se encontraban definidos los sistemas básicos utilizados en las estructuras de madera, hasta prácticamente la época moderna. Los edificios estaban formados por troncos de madera colocados horizontal o verticalmente, mientras que los edificios de armazones de columnas y vigas de madera rigidizados con otros elementos de madera. Los sistemas basados en troncos predominaron en los lugares de abundante madera, por ejemplo, la parte norte de Europa, de ahí se originó la técnica "lafte" la cual consiste en unir los troncos en las esquinas por medio de ranuras.

La estructura del techo solía hacerse con elementos más ligeros. Éste sistema se introdujo en los Estados Unidos, por los colonizadores escandinavos establecidos a las orillas del río Delaware, en el siglo XVII y fue adoptado por quienes poblaron las regiones del oeste, bajo la conocida forma de "log-cabin", la principal razón de éxito de este sistema es que no requería clavos.



Imagen 4. Viviendas Neolíticas.

Fuente:<http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2010/06/historia-de-la-vivienda-edad-de-piedra.html>



Imagen 5. Reconstrucción de elementos Neolíticos.

Fuente: https://www.caad.arch.ethz.ch/blog/7xcabin-robotic-log-processing/?utm_reader=feedly

4.2 La Edad Media

La Edad Media es la época del florecimiento del uso de la madera como material estructural, en el norte y centro de Europa. La madera fue el material más utilizado en la construcción de viviendas y estructuras menores de todo tipo. La piedra se reserva para las construcciones monumentales.

Una primera modalidad se desarrolló en Inglaterra, donde se utilizaban piezas curvas labradas de troncos de árboles con la forma apropiada, la técnica se llamaba “crucks” la cual consistía en partir las piezas por la mitad, y con ello se formaba un arco. Estos arcos constituían los elementos resistentes fundamentales, para las uniones utilizaban pijas de madera dura, los muros se conformaban de ramajes con barro, para el techo paja.

Este sistema empleaba un gran consumo de madera, cuando la madera comenzó a escasear la construcción de los “crucks” fue sustituida por una base de poste y dintel, el cual requería menos madera y permitía el uso de piezas de menor sección. En las iglesias, y otros edificios de gran importancia, se utilizaba mampostería de piedra para los muros sobre los que se apoyaba la estructura de madera del techo, con ello los muros asumieron la función estructural.

La madera se utilizó en iglesias Góticas con bóveda de piedra para soportar la cubierta del entarimado y láminas de plomo.

4.3 Los primeros usos de la madera en México

En México, en la época preclásica, las viviendas eran chozas de forma circular hechas con trozos de madera entrelazadas con arcilla y techumbre de paja, por ejemplo, en sonora y Sinaloa se han encontrado huellas de una construcción de épocas más recientes; se trata de viviendas de planta circular de diámetros de hasta 12 metros. Las construcciones, en su forma, contaban un agujero en el centro para la salida del humo. Otro ejemplo son las construcciones del apogeo en Teotihuacán donde predominó el uso de adobe y mampostería, pero la madera se empleaba como refuerzo de muros y columnas de la misma manera, con lo que hoy en día se refuerza el concreto simple combinado con el acero. También, se empleaba madera para formar techos planos de vigas de madera, palos redondos y carrizos recubiertos de tierra.

En las viviendas de Tenochtitlán perduraron los sistemas constructivos de los primeros tiempos como chozas con techos de paja y muros de ramaje entrelazado cubierto con lodo. Es probable que también hubo construcciones apoyadas sobre postes hincados en el fondo del lago, una característica de los sistemas constructivos del valle de México fue el uso de estacas cortas de madera para cimentar estructuras pesadas sobre lo poco resistente que eran los suelos arcillosos propios de la región. Hoy en día todavía se encuentran restos de estacas en las excavaciones que se efectúan en el centro de la Ciudad de México.

La piedra es el material que predominaba en las grandes construcciones mayas, en algunos casos se usaban piezas de maderas duras para formar los dinteles de las entradas de los templos, algunas de estas piezas se conservan hoy en día.

4.4 Periodo clásico

En los países mediterráneos los primeros edificios fueron de madera, ejemplo de ello son las grandes estructuras de Grecia, estos elementos constructivos propios reflejaban las estructuras de madera, esencialmente en la columna y el dintel, aunque la piedra era su elemento principal de construcción. La madera siguió utilizándose para formar los techos, al igual que en las construcciones más antiguas por su capacidad de salvar grandes claros, pero mientras los griegos se limitaban a utilizar la madera en los dinteles y columnas, los romanos llegaron a utilizar, en forma intuitiva, el principio de la armadura, un ejemplo de ello es la Basílica de San Pablo en Roma, con un claro de más de 23 metros.

La madera fue un material esencial en las construcciones militares de los romanos. Los troncos labrados con sección cuadrada fueron el elemento básico para la construcción de los almacenes, campamentos y fortificaciones. Otra de las obras de madera notables, realizadas por los romanos, fue la construcción de puentes.



Imagen 6. El primer puente de Roma (Puente Sublicio)

Fuente:<https://gladiatrixenlaarena.blogspot.com/2016/03/el-primer-puente-de-roma-puente-sublicio.html>

4.5 Norte de Europa

La escasez de madera impuso restricciones a su uso como material de construcción. En las construcciones ordinarias se utilizaban en combinación con mampostería para formar los muros, en las iglesias y palacios los muros se realizaban de mampostería y la madera se reservaba para la parte del techo, este sistema predominó de los siglos XI a XIV.

Las iglesias rusas, por ejemplo, se caracterizaban por su parte octagonal y las formas de sus cúpulas, los muros solían construirse con troncos horizontales.

4.6 Renacimiento

En los países europeos donde principalmente floreció fue en Italia y Francia, aunque la piedra fue el material preferido para los muros y fachadas de las construcciones monumentales, fue en esta época cuando la madera empezó a adquirir gran importancia, con la utilización de la armadura como sistema estructural para salvar grandes claros.

4.7 Inicios de la época moderna

Las construcciones de madera realizadas antes de esta época son notables ya que los recursos tecnológicos eran limitados; además, de que las herramientas eran rudimentarias, teniendo como principales herramientas el hacha y el martillo formones; sin embargo, no fue hasta el siglo XIX que se comenzaron a utilizar clavos y demás elementos metálicos de unión.

Ya posterior al renacimiento, se publicó el primer libro de texto sobre ingeniería con una base científica llamado "La Science des Ingenierus", el cual fue escrito por Belidor, su obra se fundamentaba en resultados experimentales, proponiendo reglas para dimensionar vigas de madera. Fue hasta finales de siglo cuando se generalizó la aplicación de principios científicos de diseño de estructuras de madera, con lo que se logra un aprovechamiento más eficiente de la madera que conduce a piezas más esbeltas que las típicas de las épocas anteriores.

Este siglo se caracteriza por la mecanización de la producción industrial, lo cual se refleja en las aplicaciones estructurales de la madera. La industrialización de la fabricación de clavos hace que estos sean más accesibles y a un menor costo, lo cual simplifica notablemente la unión de piezas de madera. También, se extiende el uso de tornillos y se inicia la producción en serie de piezas de sección estándar por métodos mecanizados.

Con todo esto, la madera pierde el papel predominante como material de construcción, esto, debido al empuje de otros materiales como el acero, el concreto y con la introducción de métodos industrializados para la producción de materiales tradicionales como el ladrillo de barro. Sin embargo, la madera sigue siendo un material de construcción de interés considerable por ser un recurso natural renovable y porque sus aplicaciones estructurales implican un consumo reducido de energía; además, del desarrollo de nuevos elementos como laminados y productos industrializados como el triplay que extendió el campo de aplicación de la madera.

4.8 Transformación de los puentes de madera a lo largo de la historia

Los puentes han sido uno de los campos de ingeniería donde la madera ha encontrado aplicaciones más interesantes. Los primeros puentes se construyeron, probablemente, de troncos de árboles que tiraban sobre un río.

Los primeros indicios de construcción de puentes de madera le pertenece a los romanos, los cuales les dieron una gran importancia. Los puentes se construían de vigas de madera apoyadas sobre pilas de mampostería. Durante el siglo XVIII se construyó una serie de puentes de madera en, los cuales, algunos de ellos contaban con claros grandes. Con estas estructuras se comenzó la idea de la armadura combinada con arcos, en las cuales se comprobaba su eficacia a través de la experiencia que iban teniendo los constructores. Otra característica que marcó a estos puentes fue el uso de cubiertas como protección contra la intemperie, no solo la cubierta sino también las conexiones.



Imagen 7. Lejonströmsbron en Skellefteå, construido en 1737.

Foto: Per-Anders Fjellström.

En el siglo XIX en Europa se construyeron todavía puentes de madera, específicamente, para el ferrocarril, se desarrolló un sistema que consistía en vigas apuntaladas por abanicos desplatao sobre pilas de mampostería y otra base de armaduras ligeras. A pesar de que los primeros puentes fueron proyectados de manera empírica, los constructores lograron soluciones de gran ingenio con las que se salvaban grandes claros. Mientras, en América los primeros puentes fueron de vigas o arcos apoyados sobre caballetes de madera, posterior a estos se comenzaron a diseñar puentes con armaduras triangulares combinadas, de alguna forma, con arcos.

Una de las cosas, que hizo posible el desarrollo del ferrocarril, fue precisamente la realización de puentes de madera ya que su red de líneas fue por el desarrollo de los puentes de caballete de madera.

En el siglo XX el desarrollo del glulam o madera laminada ayudo para mejorar el diseño y fabricación de grandes vigas, lo que permitió un mayor espacio en los puentes de vigas.

En la década de 1970, Canadá desarrolló una nueva técnica, utilizando puentes de losa con refuerzo cruzado en madera. Esta técnica ha permitido construir puentes para tráfico pesado con el mismo tipo de pavimento de asfalto que se utiliza en las cubiertas de concreto. Los puentes de losas cruzadas se construyen ahora en muchos países de todo el mundo.

En los países nórdicos, hubo un esfuerzo concentrado en la década de 1990 para desarrollar la construcción de puentes de madera e introducir losas cruzadas. En ese momento, Noruega y Suecia tenían principalmente puentes de maderas pequeñas y simples. Finlandia había seguido construyendo puentes de madera en la era moderna, particularmente puentes de vigas de madera laminada. Habiendo caído en desgracia durante mucho tiempo, los puentes de madera se han convertido una vez más en una vista común en los países nórdicos.

El año 1994 fue en que el código de estatus de la Administración de carreteras de Suecia incluyó, por primera vez, requisitos técnicos para puentes de madera. Inicialmente, estos se relacionaban con puentes peatonales y de ciclo, pero ahora también se permiten puentes de carretera en madera. Como tal, los requisitos técnicos oficiales para puentes cubren estructuras de madera junto con estructuras de concreto. (DFM Directorio Forestal Maderero, 2020)



Imagen 8. Puente colgante en Dala-Järna, construido en 1924. Foto: Per-Anders Fjellström .

<https://www.forestmaderero.com/articulos/item/los-puentes-de-madera.html>

Recientemente, a pesar de que el acero y el concreto han pasado a ser los materiales preferidos para la construcción de puentes, la madera continúa desempeñando un papel significativo ya que es un material económicamente competitivo, el desarrollo de la madera laminada, el mejoramiento de tratamientos para aumentar su durabilidad y el empleo de métodos de prefabricación. Por mencionar un dato, en los parques y bosques de Estados Unidos se encuentran en servicio más de 7 mil 500 puentes de madera. La longitud total de puentes hechos de madera para el uso ferroviario es de 2 mil 400 kilómetros, estos puentes son a base de caballetes que soportan las vigas de madera. Recurriendo al uso de estructuras de madera laminadas se ha logrado construir puentes carreteros de alrededor de 50 metros.



Imagen 9. Puente keystone wye, en Black Hills de Dakota del Sur construido en 1967-1968.

Fuente:<https://www.forestmaderero.com/articulos/item/los-puentes-de-madera.html>

5 La madera, derivados y propiedades

Los árboles están entre los miembros más importantes del reino de las plantas. Llevan millones de años constituyendo una parte vital del ciclo biológico natural que mantiene vivo el planeta, al igual que todas las plantas dependen del proceso llamado fotosíntesis, que aprovechan la energía del sol para combinarla con dióxido de carbono (CO₂) del aire y producir los nutrientes adecuados para crecer. A cambio, liberan oxígeno a la atmósfera y a través de sus hojas se evapora una gran cantidad de agua.

La madera es un material que viene ya preparado para su uso desde un aserradero, cortada a longitudes estándares y cepillada para un acabado liso, este procesamiento y las prácticas de comercialización modernas exigen que se elimine en medida de lo posible la variación propia del producto natural. Sin embargo, la madera no es un material prefabricado y es tan variada como los árboles de los que se obtiene.

A simple vista la madera se ve solo como un bloque sólido con líneas de diferentes colores en todas sus superficies, sin importar si es madera dura o blanda.

5.1 Estructura de la madera

La parte más importante y útil de un árbol es el tronco, se puede decir que éste, desempeña tres papeles: conduce agua o savia de las raíces, soporta el peso del árbol y almacena los nutrientes producidos en las hojas para poner en marcha una fase de crecimiento nueva. Las diferentes partes del tronco se adaptan a distintas funciones, pero todas ellas utilizan los mismos elementos.

La capa exterior es la corteza del árbol la cual lo protege mientras crece, debajo de ésta se encuentra el líber, una parte vital del árbol ya que es quien conduce los azúcares sintetizados en las hojas hacia la base del árbol.

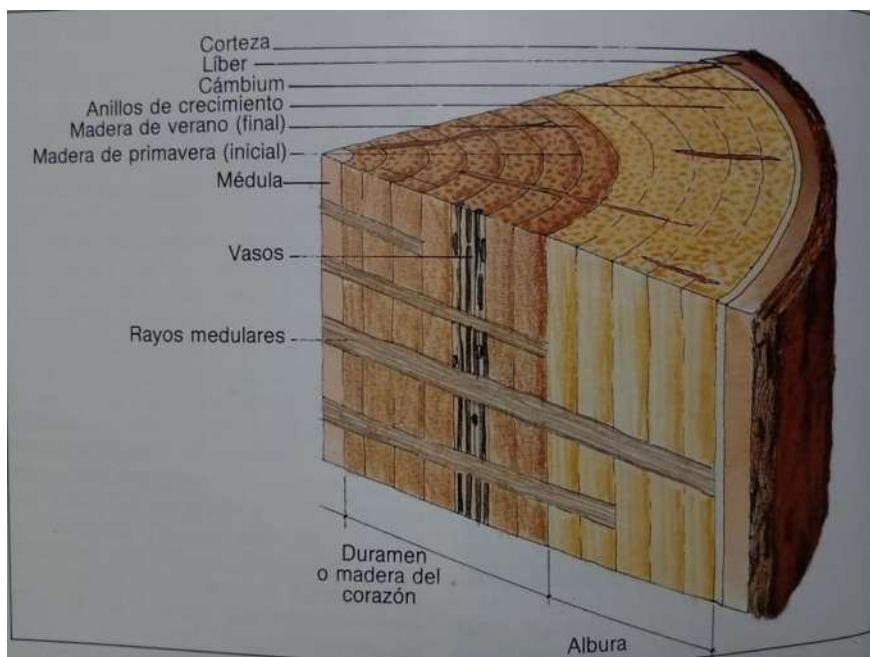


Imagen 10. Partes de un tronco.

Tomada de: Biblioteca atrium de la ebanistería -1, Ignacio Aranó.

Los árboles crecen, en grosor, gracias a la actividad de su única capa de células llamada cambium, situada entre el leño y el líber. El cambium rodea las partes vivas del árbol, y durante los períodos de crecimiento activo las células cambiales se dividen y dan lugar a nuevas células leñosas por la cara interna y a células líber por la externa; de esta forma, la madera nueva se superpone al núcleo de leño preexistente.

La madera presenta dos cualidades que se pueden diferenciar bien: una periférica, estrecha, tierna, porosa, cargada de agua y poco consistente, denominada albura por estar incompleto el proceso de endurecimiento o lignificación, y la otra interior, llamada duramen o madera perfecta porque ha alcanzado la resistencia y opacidad máximas por estar avanzado el endurecimiento o lignificación y completos los rellenos de tanino, resinas y sales minerales ; la madera cercana a la médula tiene estas propiedades más acentuadas y se denomina corazón del tronco.

La lignificación de la madera es más lenta que el crecimiento, es decir, cada año no se convierte un anillo de albura en anillo de madera sino parte de él. Debido a esto, varía la proporción de albura y madera según las especies: los pinos y encinos tienen mucha albura; los castaños y olmos en cambio poseen muy poca. La albura, cargada como está de savia y sustancias solubles alterables, es de inferior calidad y está sujeta a podrirse y carcomerse, al revés de la madera hecha, que solo tiene compuestos estables y con frecuencia conservadores de la madera, como los antes citados.

La lignificación y la incrustación de sales acaban por reducir, al cabo de muchos años, la vitalidad de los círculos centrales, que se enrojecen e indican que el árbol está en un periodo de decrepitud y que la madera ha perdido sus buenas cualidades; y de ser así la tala se tiene que verificar.

La madera está formada por una serie de anillos de crecimiento cilíndricos, enfundados sucesivamente, nacidos de la capa generatriz y correspondiente a períodos vegetativos. En los países templados el periodo vegetativo dura un año; por tanto, el número de anillos indica exactamente el número de años de vida del árbol y entonces se denominan círculos anuales.

En los países cálidos, en cambio, existen tantos ciclos vegetativos como periodos de lluvias separados por grandes sequías que provocan la caída de las hojas, como sucede en el invierno de las zonas templadas. Por eso, en las regiones de África que suelen tener dos e incluso tres intervalos secos al año, el número de anillos de crecimiento es doble o triple que el de edad de planta. Los círculos de crecimiento no sólo nos dan a conocer la edad del árbol, sino que proporcionan indicaciones interesantes sobre su vida por su correlación con las propiedades de la madera. Los anillos correspondientes a la juventud de la planta son estrechos, aumentan de espesor durante la madurez y decrecen otra vez en la edad adulta. Cuando la médula es excéntrica y los haces fibrosos se encuentran ondulados helicoidalmente, se originan maderas repelosas y de fibras discontinuas.

La composición de la madera es una sustancia fibrosa y celulosa que componen el tronco y las ramas del árbol. La proporción aproximada de las diversas materias que la componen es: celulosa, lignina, resina, almidón, tanino y azúcares; estos elementos orgánicos están compuestos de elementos esenciales como: carbono, oxígeno, hidrógeno, fósforo, azufre, compuestos minerales como potasa, sodio, litio, alúmina, cal.

5.2 Maderas coníferas y frondosas

Dependiendo de la especie y las condiciones de crecimiento, la madera posee una amplia gama de características en mayor o menor grado como lo son: fuerza, duración, flexibilidad, fragilidad y apariencia. Conocer estas cualidades nos ayudará a escoger el mejor material para el diseño o trabajo.

Maderas coníferas

La estructura de estas maderas es sencilla; faltan en ellas las células que en las frondosas aparecen como poros en los cortes radial y tangencial. Dichas maderas son ligeras y blandas, aunque la dureza, la pesadez y la tenacidad pueden diferir bastante en una misma clase de madera. Un tronco de conífera se caracteriza por que la zona más ancha y oscura de la madera tardía de los anillos de crecimiento alterna con la más estrecha y clara de la madera primeriza.

Las maderas de primavera y otoño se presentan en forma de anillos concéntricos, alternativamente claros y oscuros en la sección vista por testa; forman vetas paralelas de ancho casi iguales en la sección radial; finalmente, la sección tangencial, que es la más bonita, está constituida por fajas onduladas de ancho distinto, que se le llega a llamar aguas de la madera.

Dadas sus cualidades de blandura y la sencillez de su constitución, las maderas de coníferas son fáciles de trabajar. Entre ellas destacan las siguientes: abeto, alerce, ciprés, pino laricio, pino canario, pino carrasco, pino insignis, cedro, pino silvestre, pino Oregón.

Maderas frondosas

Estas maderas están constituidas por maderas de paredes gruesas, con pequeños espacios huecos, por lo cual son más pesadas que las maderas de coníferas, y tienen un tejido leñoso más compacto. Así se comprenden porque la mayoría de las maderas frondosas ofrecen una resistencia superior a las de coníferas. La complejidad de estructura de las maderas frondosas influye mucho en su aspecto exterior, veteado, brillo, nudos, etc.

En la parte principal de estas maderas los anillos de crecimiento, formados por coronas anulares de vasos o poros, surcados por líneas normales constituidas por los radios medulares.

En la sección radial, los anillos de crecimiento aparecen continuos y brillantes. Por último, la sección tangencial franjas de surcos curvos, de anchura y curva crecientes hacia el centro, con una serie de manchas oscuras que son las secciones transversales de los radios medulares.

Por su composición estas maderas son más difíciles de trabajar que las coníferas. Actualmente las más utilizadas en el mundo son:

Las maderas europeas más importantes son: acacia, arce, castaño, cerezo, encina, eucalipto, fresno, haya, nogal, olivo, olmo, peral, manzano, roble, sicomoro, abedul, álamo, abebay, balsa, coral, okume, amaranto, balata, caoba, granadillo, guayacán, jacaranda, palo amarillo, palo Brasil, quebracho, palo rosa, amboina, apitong, calingag, catmon, ébano, palo fierro, teca, acacia, acle.

A continuación, se especifican las maderas principales en la ingeniería civil

- 1) Postes, andamios, antenas: roble, pino silvestre, fresno, abeto, eucalipto.
- 2) Traviesas de ferrocarril: encino, roble, pino, abeto, eucalipto, acle.
- 3) Pilotes: roble, haya, olmo, arce, pino resinoso
- 4) Puentes: roble, encino, arce, fresno, teca, olmo, nogal.
- 5) Obras definitivas: roble, encino, castaño.

- 6) Obras provisionales: pino, álamo, abeto.
- 7) Armaduras: abeto, cedro rojo, pino, encino, castaño, fresno, roble
- 8) Vigas de 4 a 17 m: pino silvestre, castaño, roble, eucalipto, fresno, haya.

5.3 Propiedades de la madera

La madera es un material orgánico que tiene diferentes aplicaciones, cada especie presenta sus propias características, razón por la cual es utilizada para distintos fines, según sus propiedades físicas y mecánicas.

Así como cada especie tiene distinto comportamiento en sus propiedades, se ha comprobado, a través de investigaciones, que una misma especie varía sus propiedades según las zonas geográficas y climas donde se desarrolla.

Las características de la madera varían según las diferentes especies, por su constitución anatómica, el desarrollo y la sección del árbol de la cual se extrajo.

Propiedades físicas

Anisotropía

Casi todas las propiedades de la madera difieren en las tres direcciones básicas de anatomía de la madera (axial, radial, tangencial).

La dirección axial es la dirección de crecimiento del árbol (dirección de las fibras). La radial es perpendicular a la axial, es la dirección de los radios y corta al eje del árbol. La dirección tangencial es paralela a la radial, en la dirección de la fibra y cortando los anillos anuales.

Higroscopicidad

Es la capacidad de la madera para absorber la humedad del medio ambiente. Dependiendo del tipo de madera y de su punto de saturación, el exceso

de humedad produce hinchazón. La pérdida de humedad durante el secado la madera contrae las fibras diferentes en las tres direcciones, la contracción axial es la menos afectada (promedia el 0.3%, según las especies), la contracción tangencial (paralelo a los anillos de crecimiento) es aproximadamente el doble de la radial (en paralelo a los rayos).

Densidad

Cuanto más leñoso sea el tejido de una madera y compactas sus fibras, tendrá menos espacio libre dentro de sus fibras, por lo que pesara más que un trozo de igual tamaño de una madera con vasos y fibras grandes. La densidad de la madera varía con la humedad (12% es la humedad normal de abrigo y climatizada). La madera verde tiene valores de 50% a 60% y se reduce durante el secado, por ejemplo, el peso de la madera de roble recién cortado es de alrededor de 1000 kg/m³ y en estado seco (12% de humedad) baja a 670 kg/m³. Las maderas se clasifican según su densidad aparente en pesadas, ligeras y muy ligeras. Las maderas duras son más densas.

Hendibilidad

Es la resistencia que ofrece la madera al esfuerzo de tracción transversal antes de romperse por separación de sus fibras. La madera de fibras largas, con nudos o verde es más hendible.

Dureza

La resistencia al desgaste, rayado, clavado, corte con herramientas, etc., varía según la especie del árbol. La madera del duramen es más dura que la de

la albura. La madera seca es más dura que la verde. Según su dureza la madera se clasifica en:

- Maderas duras: son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento, de hoja caduca, por lo que son más densas.
- Maderas blandas: las maderas de coníferas son las livianas y menos densas que duras.
- Maderas semiduras: muchas maderas no se pueden clasificar en las categorías anteriores por tener una densidad y resistencia variadas. Algunas maderas de especies duras o blandas presentan mayor o menor resistencia y características que las hacen más fácil o difícil de trabajar, por lo que la clasificación es en la práctica referida a la facilidad o dificultad que en general presentan las maderas para el trabajo con herramientas.

Flexibilidad

Es la capacidad de la madera de doblarse o deformarse sin romperse y retornar a su forma inicial. Las maderas verdes y jóvenes son más flexibles que las secas o viejas.

Estabilidad

Al secarse la madera pierde humedad hasta alcanzar un equilibrio con el medio ambiente, dependiendo de la humedad ambiental, densidad, escuadría de las piezas, orientación de sus fibras y sección de los anillos, se contraerá en mayor o menor grado durante y mantendrá su forma o se deformará curvándose y rajándose. Para reducir estas posibles alteraciones la madera se estiba separándola con listones finos que permitan su aireación, protegiéndola del sol,

exceso de calor y humedad. Las tablas aserradas radialmente son más estables que las aserradas tangencialmente.

Óptica

El color y la textura de la madera son estéticamente agradable, los nudos y cambios de color en algunas maderas realzan su aspecto. Los rayos ultravioletas degradan la lignina de la madera produciendo tonalidades en la veta de color gris sucio y oscureciendo su superficie. Este efecto de la luz solar se limita a la superficie y puede ser contrarrestado protegiéndolas con esmaltes o lacas.

Biológicas

La madera es biodegradable, por tanto, se pudre y es afectada por insectos, hongos y bacterias que producen un daño permanente, con mayor frecuencia si los niveles de humedad superan el 20%. Algunas maderas son más resistentes que otras debido a su contenido de lignina que impide la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular.

Propiedades mecánicas

Resistencia

De todas las fuerzas de la madera de su resistencia a la tracción tiene los valores más altos, mientras que la resistencia a la compresión de la madera alrededor del 50% y la resistencia al corte obtenidos sólo el 10% de los valores de resistencia a la tracción. La resistencia a la tracción del acero convencional es 5 a 6 veces mayor que la resistencia a la tracción de la madera, pero está 16 veces más ligera; por lo tanto, su relación de fuerza peso, es más favorable.

Tracción

La mayor resistencia es en dirección paralela a las fibras y la menor en sentido perpendicular a las mismas. La rotura en tracción se produce de forma súbita.

Compresión

La resistencia a la compresión aumenta al disminuir el grado de humedad, a mayor peso específico de la madera mayor es su resistencia, la dirección del esfuerzo al que se somete también influye en la resistencia a la compresión, la madera resiste más al esfuerzo ejercido en la dirección de sus fibras y disminuye a medida que se ejerce atravesando la dirección de las fibras.

Flexión

El esfuerzo aplicado en la dirección perpendicular a las fibras produce un acortamiento de las fibras superiores y un alargamiento de las inferiores.

Elasticidad

El módulo de elasticidad en tracción es más elevado que en compresión. Este valor varía con la especie, humedad, naturaleza de las sollicitaciones, dirección del esfuerzo y con la duración de aplicación de las cargas.

Pandeo

El pandeo se produce cuando se supera la resistencia de las piezas sometidas al esfuerzo de compresión en el sentido de sus fibras generando una fuerza perpendicular a ésta, produciendo que se doble en la zona de menor resistencia.

Fatiga

Llamamos límite de fatiga a la tensión máxima que puede soportar una pieza sin romperse.

Resistencia al corte

Es la capacidad de resistir fuerza que tienden a que una parte del material se deslice sobre la parte adyacente a ella. Este deslizamiento, puede tener lugar paralelamente a las fibras; perpendicularmente a ellas no puede producirse la rotura, porque la resistencia en esta dirección es alta y la madera se rompe antes por otro efecto.

Propiedades especiales

Acústica

La velocidad del sonido en fibra de madera en paralelo alcanzados 4000-6000 m/s, transversal a la fibra está a sólo 400 a 2000 m/s.

Los parámetros que más influyen en la velocidad de la densidad sonora son la elasticidad, longitud de la fibra y su ángulo, contenido de humedad y defectos en la madera como nudos o grietas. Algunas maderas por sus excelentes propiedades acústicas se usan para fabricar instrumentos musicales y otras como material de aislamiento acústico. Partículas con una densidad de área de 15 a 20 kg/m lograr un aislamiento de sonido desde 24 hasta 26 dB.

Con mediciones de sonido (tomografía acústica) se prueba el módulo de elasticidad dinámico en el control de calidad de la madera y para diagnosticar el estado de los árboles en pie.

Térmica

La madera debido a su porosidad es un mal conductor del calor y por lo tanto limitada como aislante térmico. El punto de inflamación de la madera es de 200 a 275 °C. (Tecnología de la Madera - FCF, 2015)

5.4 Veteado de la madera

Las vetas nos indican la dirección en la que crecen las fibras de un árbol, son también conocidas como anillos de crecimiento y hay variaciones en ellas, incluso en piezas de madera de la misma especie se puede llegar a tener una apariencia absolutamente diferente.

Existen seis diferentes tipos de vetas en la madera:

- Veta diagonal. Es cuando el tronco de la veta recta no se serrucha a lo largo de su eje vertical y da como resultado una veta diagonal.
- Veta en espiral. Cuando los árboles crecen retorcidos, producen troncos con vetas en espiral, las fibras siguen un curso en espiral con un giro que va hacia la izquierda o hacia la derecha.
- Veta recta. Las fibras de la tabla corren aproximadamente en paralelo con el eje vertical del tronco del que fue cortada.
- Veta ondeada. Este tipo de veta aparece cuando la dirección de las fibras de la madera cambia constantemente.
- Veta irregular. Los elementos de este tipo tienen fibras en direcciones variadas e irregulares desde el eje vertical de tronco.
- Veta entrelazada. Elementos con esta veta es cuando proviene de árboles cuyas fibras van cambiando de dirección con cada año.

La densidad del diseño de la veta determina su dureza, por ejemplo, una pieza de madera con un diseño apretado es más fuerte que una con un diseño menos apretado, al construir la dureza de una tabla se optimiza cuando otras piezas la cruzan a través del diseño de la veta y no en paralelo.



Imagen 11. Tipos de veta de la madera.
Fuente: <https://maderame.com/vetas-madera/>

En las vetas existen lo que se le llama defecto de veta corta o desigual y esto se debe a un crecimiento disparejo del árbol o a que la veta se ha torcido por la proximidad de un nudo. Las vetas muy cortas o muy próximas debilitan el elemento y se puede decir que no sirven o no se recomienda que sean utilizadas como elemento estructural.

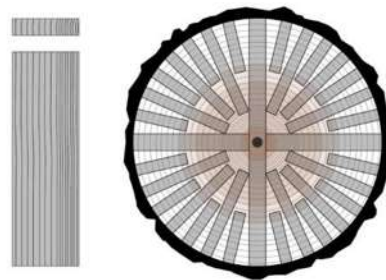
Dentro de esta clasificación está lo que es la madera reactiva la cual aparece donde un crecimiento desigual del tronco somete a las fibras a gran presión. Se distingue porque son mucho más oscuras que la madera que lo rodea. Estas áreas son mucho más débiles, difíciles de trabajar y propensas a desplazarse o encogerse anormalmente, como en todo defecto es recomendable no utilizar esta madera como elemento estructural.

5.5 Formas de aserrar un tronco

Aunque estas técnicas pueden ser diferentes, según el uso requerido, se podrían considerar tres cortes principales –Corte Radial, Hilos Encontrados y Corte Paralelo– y una serie de variaciones que surgen a partir de ellos:

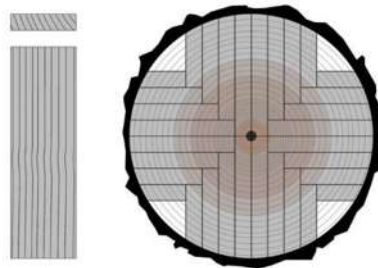
Corte radial (Rift sawn)

Este corte se realiza de forma perpendicular a los anillos de crecimiento. Mantiene la veta visible y permite evitar alabeos (deformaciones que encorvan los bordes de la tabla) o fendas (grietas longitudinales), pero genera un mayor desperdicio de material.



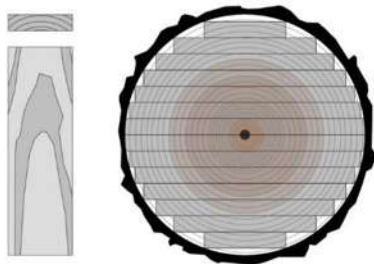
Hilos encontrados (Quarter sawn)

Se realizan cortes paralelos a los ejes del tronco, obteniendo piezas poco propensas a alabeos o deformaciones y con una gran cantidad de vetas a la vista.



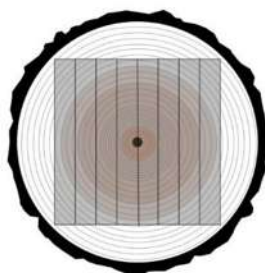
Cortes Paralelos (Flat sawn)

Es un método muy utilizado, aunque las piezas resultantes no son de la mejor calidad, ya que la mayoría incluyen un cierto porcentaje de la Albura y del Duramen. La pieza central que coincide con el núcleo podría tender a quebrarse, mientras que las piezas siguientes son propensas a curvarse.



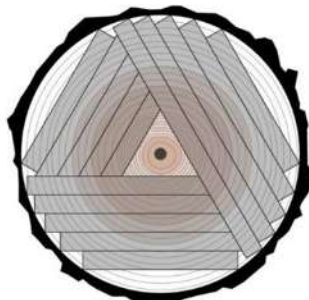
Hilos paralelos

Es similar al sistema de 'Cortes Paralelos', pero en este caso se obtienen piezas de menor sección, con menos posibilidades de curvarse transversalmente.



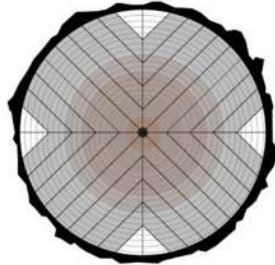
Método Cantibay

Permite obtener tablas anchas sin mayor desperdicio, eliminando el núcleo del tronco.



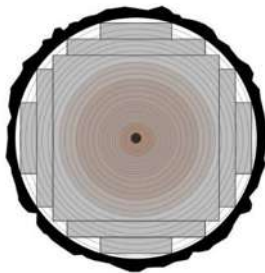
Corte Holandés

El tronco se corta en cuatro cuartos para extraer piezas de buena calidad en cuanto a resistencia y apariencia.



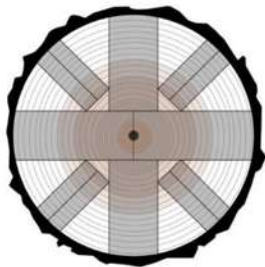
Pieza Enteriza

En este caso el tronco se utiliza en su máximo potencial, eliminando la corteza hasta obtener una sola pieza cuadrangular.



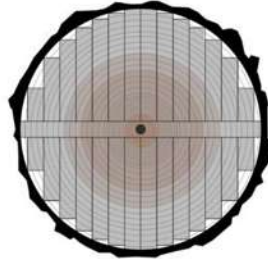
Corte en cruz

Este corte se centra en obtener piezas muy resistentes, inscritas totalmente en el Duramen del tronco. Del resto se obtienen piezas más pequeñas.



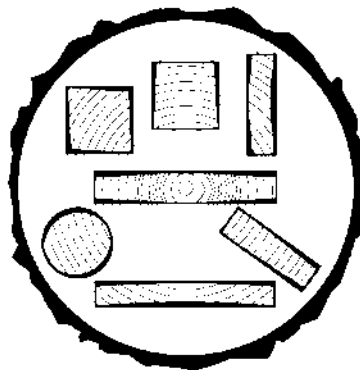
Corte encuartonado

Se cortan primero las tablas correspondientes al núcleo del tronco, obteniendo del resto piezas más delgadas, pero bastante resistentes a deformaciones.



Deformaciones

Cuando la madera –inicialmente húmeda– se seca, se producen distintas contracciones según el corte realizado y la disposición resultante de los anillos de crecimiento. Aunque esto varía en las distintas especies, la deformación siempre es mayor en el sentido tangencial a los anillos, que en su sentido radial. (Franco, 2018)



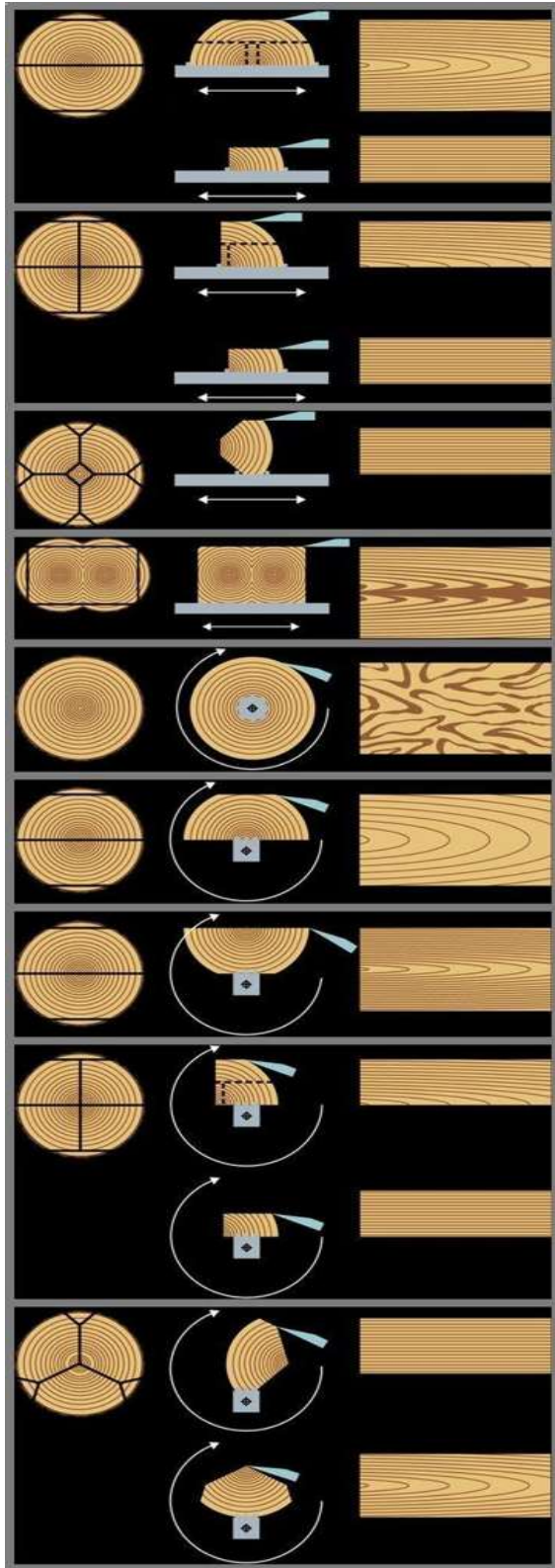


Imagen 12. Cortes de un tronco.
<https://woodworkingwow.blogspot.com/>



Imagen 13. 52 tipos de madera y los árboles.
 provienen. <https://www.archdaily.mx/869132>

Defectos de la madera

Los defectos de las fibras, ya sean desviadas, curvas, entrelazadas, onduladas, reviradas, etcétera, están siempre relacionadas con un crecimiento y desarrollo anormal al no dejar crecer a la madera paralelamente a la médula. Por ejemplo, un suelo pedregoso no permite el enraizamiento en una cierta dirección; la acción de la luz y el viento en un solo sentido, produce inclinaciones o ligeras curvaturas sencillas en los troncos y por consiguiente en las fibras teniendo menor resistencia.

Debido al fototropismo se puede producir desigual crecimiento en las dos mitades del tronco, esto es lo que origina una curvatura del mismo y este es un defecto grave para el

desarrollo y el aserrado. En cuanto a los defectos del corazón, el que afecta su crecimiento está relacionado con el descentramiento del mismo. Cuando los anillos de crecimiento sufren irregularidades y deformaciones, el corazón queda excéntrico al tronco del árbol, este problema sucede a menudo en los árboles crecidos en laderas o en suelos rocosos en los que algún obstáculo hace desigual la copa.

Las anomalías del entrecasco, conicidad y aletas, están relacionadas respectivamente por la soldadura imperfecta de dos troncos gemelos o de dos ramas, detectándose en un corte transversal el doble corazón que presenta. La diferencia entre diámetro máximo y mínimo de las testas referido en tanto por ciento a la longitud de la pieza es llamada defecto de conicidad.

El crecimiento de una madera producido bajo la acción de tensiones mecánicas recibe el nombre de madera de reacción. Este desarrollo puede hacerse bajo la acción de una tracción y la madera se conoce con el nombre de madera de tracción, o bajo la acción de una compresión

que se llama madera de compresión. Cabe mencionar que el fenómeno de la madera de tracción se produce generalmente en las frondosas el fenómeno de la compresión en las resinosas.

Como alteración normal de las fibras de la madera tenemos los nudos, que es simplemente el centro de una rama crecida lateralmente sobre el tronco, que ha dejado su rastro en el interior del mismo, a medida que se ha ido desarrollando su crecimiento; rastro que se encuentra atravesando los espesores aserrados en el tronco en los árboles que crecen aisladamente o en pequeños grupos se desarrollan ramas más abundantes y de mayor diámetro que en los árboles crecidos en la espesura del bosque.

La disposición de nudos corresponde a la de las ramas y es por tanto en espiral o alternada en las maderas frondosas y verticales en las maderas coníferas. Los nudos son vivos si proceden de ramas vivas, y son adherentes a la madera circundante de color claro y menos perjudicial que los nudos muertos y estos proceden de ramas de madera muerta por senectud o por accidente, los nudos muertos no son adherente, tienen color oscuro y habitualmente están atacados por la podredumbre.

- Acebolladuras: es la separación de los tejidos leñosos, son producto de las heladas, los árboles que las tienen, con más frecuencia, son los que tienen mayor cantidad de tanino como el castaño y encino, este defecto no se aprecia cuando el árbol está en pie sino hasta que es cortado.
- Grietas: Son rajaduras que se producen en el sentido de los radios medulares. Generalmente por una desecación excesiva con pérdida muy rápida de humedad.
- Hendiduras: A diferencia de las grietas se producen desde el exterior hacia el centro del árbol. Son causadas por la contracción o secado demasiado rápido del árbol, la pueden producir la sequía, la acción excesiva de sol o intensas heladas.

- Pata de gallo: Similares a las grietas, pero con mayores proporciones, que se ramifican desde el corazón hacia la corteza. En el castaño y roble pueden producirse durante el desarrollo del árbol, y en haya, abeto blanco y pino después del apeo.
- Lanulados: Se produce cuando el frío riguroso detiene por completo el desarrollo del árbol, y al continuar creciendo quedan anillos o capas de madera muerta entre los últimos anillos y los nuevos tejidos. Éstos tejidos leñosos muertos son fácilmente afectados por la putrefacción.
- Nudos: El desarrollo de las ramas produce la desviación de las fibras que rodean a las formaciones de las ramas que crecen en diferente dirección que el tronco. Cuando éstas se rompen, secan o son cortadas quedan atrapadas entre las nuevas capas de la albura, y sobre ellas se van formando nuevos tejidos que los cubren, dando lugar a lo que llamamos nudos. Estos nudos por tener la fibra en diferente dirección que el resto de la madera, tienen mayor dureza y si permanecen fuertemente adheridos a los tejidos que los circundan se los llama nudos vivos, por el contrario, si sus tejidos están compuestos tejidos muertos, se los llama nudos muertos y se desprenden con facilidad por la contracción de las fibras durante el secado.
- Doble albura: Cuando los fríos son muy prolongados y la zona afectada abarca varios anillos, la albura queda desvitalizada y sin lignificar, formando una capa de madera propensa a la descomposición y de escasa resistencia, se la diferencia por la decoloración de las fibras y tonos rojizos cuando está en proceso de descomposición.
- Lagrimales: Se producen por la filtración del agua de lluvia cuando se desgaja, pudre o rompe una rama, que interrumpe el paso normal de la sabia y corrompe las zonas leñosas circundantes.
- Corazón excéntrico: Es frecuente por la acción de los fuertes vientos y el sol, que en los árboles que están en las zonas desprotegidas del bosque crezcan con cierta

excentricidad del corazón lo que produce distintas cantidades de madera en las diferentes zonas del tronco. Una tabla que contenga el corazón descentrado responderá de manera diferente a la humedad y esfuerzos, ocasionando deformaciones desiguales, ya que las zonas de anillos expandidos absorberán más humedad y serán más hendibles que los anillos con mayor compresión en sus fibras.

- Corazón hueco: Se origina por la pudrición roja, cuando el árbol se pone viejo si sus anillos centrales se secan y desintegran, siendo afectado el árbol por el virus que descompone el corazón, quedando el hueco. Cuando la madera presenta este defecto dificulta su aprovechamiento, pero al mismo tiempo no se puede saber mientras el árbol esté en pie.

a) Acebolladuras b) Grietas c) Hendiduras d) Pata de gallo e) Nudos f) Corazón excéntrico
g) Corazón hueco

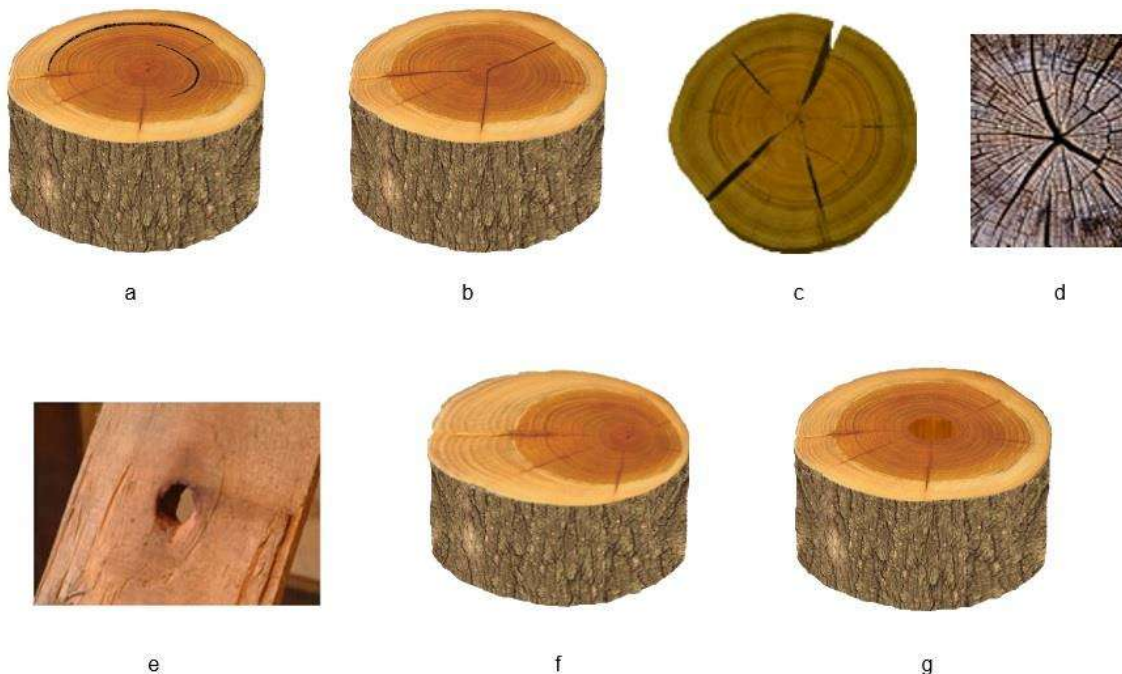


Imagen 14. Defectos de la madera.

Fuente: <https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/enfermedades-y-defectos/defectos>

5.7 Parásitos vegetales

El defecto producido en la madera que conlleva la alteración de su color natural, está producido especialmente por hongos cromógenos que, únicamente, se comen el líquido del interior de las células, a diferencia de los hongos xilófagos que se comen la celulosa y la lignina de las paredes de las células, acabando por destruir la madera. El cambio de color más conocido es el azulado producido por la descomposición de los cuerpos albuminoides de la savia bajo la acción de los hongos cromógenos.

En las maderas de haya, roble, castaño sometidas a una elevada y persistente humedad, se produce una alteración de color y aparece la madera verdeada por la acción de los hongos del género *Helotium*, que en lugar de descomponer la materia leñosa, aumentan su densidad e incluso le confieren, más durabilidad. Finalmente, entre los fenómenos con alteración de color, se encuentra el llamado corazón rojo del haya que produce especialmente en las hayas viejas cuando el corazón se altera haciéndose esponjoso, ya que el agua asciende por capilaridad, oxidando el tanino que enrojece y tiñe el centro del tronco. Otra coloración roja es el pasmo, producido por los hongos que después de enrojecer la madera acaban por reducirla a un polvo pardo rojizo o color tabaco y que ataca, tanto a los árboles, como a la madera puesta en obra.

5.8 Insectos xilófagos

Muchos insectos atacan las hojas, otros la raíces, algunos viven bajo la corteza y otros se comen la madera de los árboles tanto en pie como cortada. Los insectos más comunes que carcomen la madera son los siguientes: abejas carpinteras, barrenillos, polilla grande, gusanos negros, hormigas carpinteras, hormigas blancas, termitas, escarabajos de la madera, mariposas de la madera.

- 1) Abejas carpinteras: tienen un cuerpo alargado con antenas filiformes y un potente taladro con el que va construyendo túneles que aumentan su anchura a medida que avanza el desarrollo de la larva.

- 2) Barrenillos: la larva es curvada arrugada, de color blanco, con seis patas y dos mandíbulas con las que rompe la madera.
- 3) Polilla grande: como resultado de su ataque aparece en la superficie de la madera unos orificios ovalados, limpios y grandes de 3 a 4 mm de ancho. En el interior de la madera están los huecos que van construyendo las larvas.
- 4) Gusanos negros: vive entre a corteza y la madera penetrando en ésta hasta 8mm estirándolas.
- 5) Hormigas carpinteras: es la mayor y más fuerte de todas las hormigas, alcanzando hasta 17 mm de longitud, generalmente ataca los arboles viejos en pie.
- 6) Hormigas blancas: es uno de los insectos más dañinos para la madera ya que ataca la humedad cerca del suelo, tiene una de las mandíbulas más fuertes de todas las hormigas.
- 7) Termitas: tiene antenas aserradas, su larva es muy voraz. La termita deja en la superficie de la madera unos orificios ligeramente ovalados o circulares de 1 a 1.5 mm de ancho cuando atacan la madera en el interior se forman huecos en el mismo sentido de la fibra, llenas de polvo muy fino y suelto de aspecto harinoso, hecho por las larvas que son los que se comen la madera, suelen atacar maderas secas y semi-secas a partir de seis meses de estar cortado el árbol siempre y cuando los poros de la madera sean lo suficientemente grandes para que la hembra pueda hacer la puesta de larvas en el interior de las fibras que tengan un alto contenido de almidón.
- 8) Escarabajos de la madera: es de color negro y amarillos, tiene las alas más largas que el cuerpo las cuales lo protegen, con antenas aserradas.
- 9) Mariposas de la madera: tiene un cuerpo grande y algodonoso, puede llegar a medir hasta 70mm color gris, las orugas son las que frecuentemente atacan la madera.

Para proteger a las maderas de estos ataques durante su almacenamiento es normal impregnarlas o inyectarles antiparasitarios como puede ser petróleo, trementina, dicloronaftalina,

diclorodifeniltricloreto, entre muchos otros compuestos. En todas aquellas maderas que no son muy atacables por insectos y se emplean en la construcción, es conveniente emplear barnices y pinturas que ya tengan estos elementos en su formulación.

5.9 Derivados de la madera

La madera por ser un material natural y heterogéneo que sufre deformaciones, principalmente debido a la humedad, debe emplearse teniendo en cuenta los movimientos naturales y esfuerzos a los cuales es sometida, las deformaciones si bien no pueden evitarse, deben minimizarse. Para resolver esta dificultad, la madera es transformada en sus diferentes derivados que a su vez amplían sus posibilidades de aplicación, mejorando en algunos casos la calidad de los productos, su aspecto y resolviendo requerimientos constructivos particulares.

Existe gran variedad de productos derivados de la madera con diferentes dimensiones y acabados que tienen diversos usos, según su constitución, resistencia y propiedades.

Algunos son productos con láminas de madera en su superficie, como los compensados, madera terciada, placas macizas, MDF y aglomerados que tienen en sus caras chapas de maderas nobles y decorativas, se emplean en la construcción de muebles, otros usos son embalajes y construcción, admiten el pegado con maderas macizas y pueden combinarse con éstas, sus cantos generalmente se laminan o recubren con re-gruesos de madera si se tienen que moldurar uniéndolas mediante tarugos, lengüetas, machihembres, etc. Se obtiene con éstos derivados un acabado final que permite lustres de lacas o barnices.

Paneles y placas, son diferentes compuestos con la superficie cubierta por papeles decorativos o melamina de colores o imitando diversos materiales o madera, se fabrican de diversas medidas y espesores, pueden estar revestidos en una o las dos caras. También se presentan sin el acabado decorativo, brindando un producto de menor costo, admitiendo acabados de pintura, o se emplean formando parte de elementos constructivos y estructurales que no queden a la vista. Existen otros derivados de la madera diseñados como productos finales para revestimientos como pisos, pisos flotantes, cielo raso, puertas prefabricadas, vigas laminadas, etc. que no requieren de ninguna elaboración para su utilización.

5.9.1 Productos laminados de madera

Los productos laminados de madera pueden ser en su aspecto exterior similares, distinguiéndose por los diferentes elementos estructurales utilizados como base: madera maciza, chapas de madera, materiales de chips, materiales a base de fibras, viruta de madera, etc.

Aglomerados

En la década de 1930 el alemán Max Himmelheber, procurando aumentar el grado de utilización de los árboles, inventa este material empleando astillas de madera, aserrín y ramas, logrando un aprovechamiento del 80% de la madera cortada, actualmente se fabrican diversos tipos de aglomerados empleándose métodos diferentes, constituidos de virutas y aserrín, pegados y compactadas a presión con una proporción de 50% virutas y 50% pegamento. El tamaño de sus partículas, su distribución, el adhesivo empleado y el método de fabricación

producen diferentes tableros, cuya calidad es determinada por la fuerza y resistencia a la humedad de sus partículas.

Son placas con superficies totalmente lisas, si no lleva recubrimiento se lo denomina aglomerado rústico, de lo contrario puede ir revestido con láminas de maderas, papeles decorativos o laminados plásticos. Sus cantos siempre quedan ásperos y deberán revestirse para logran una buena terminación.

Por su constitución son estables y uniformes, su resistencia al esfuerzo es igual en todos los sentidos ya que no tiene las fibras unidas como la madera maciza. Son poco resistentes a la tracción y el exceso de humedad los deforma, esta hinchazón no se contrae con el secado.

Los métodos de fabricación del aglomerado son dos, el prensado plano, para la fabricación de tableros de una capa u homogéneos, que tienen las partículas de igual tamaño dispuestas paralelas a la superficie, de tres capas, con una capa central de partículas más grandes que las exteriores, de capas múltiples, con una sucesión de capas de partículas cada vez más pequeñas hacia el exterior, que posteriormente pueden revestirse con laminados y papeles decorativos.

Los tableros fabricados mediante prensado de canto son tableros enchapados, con las partículas colocadas verticales a la superficie y una chapa en cada lado, lo que a su vez le otorga mayor resistencia, y por extrusión, son también tableros enchapados que quedan con unos orificios cilíndricos en todo el largo, producto de unos tubos empleados para calentar la cola, estos tableros son más livianos, pero menos resistentes, empleándose, particularmente, como aislantes acústicos.



Imagen 15. Aglomerados.

Fuente: <https://maderasmendi.com/producto/aglomerados/>

Chapas

Las chapas son láminas de madera que se usan para el revestimiento de superficies grandes extrayéndose por dé-bobinado de rolos y de varias medidas y espesores según su destino, para la fabricación de compensados, multi-laminados, placas macizas, paneles de MDF y aglomerados. Para otros usos de carpintería como puede ser mueblería, ebanistería y marquetería que se obtienen mediante un corte aproximadamente de 0,6 mm de espesor, excepto algunas maderas especiales que se cortan de 1,5 a 2 mm de espesor; de anchos de 15 cm hasta 50 o 60 cm según las especies y del largo de las tablas 240 cm o más.

Las chapas pueden ser:

- Naturales de diferentes maderas, que se venden por hoja suelta o por paquete y en algunos lugares por muestra, pequeños recortes o sobrantes.
- Teñidas con chapas de maderas claras que se someten a entintado industrial a presión para logran una mayor penetración de los tintes.
- Raíces, se obtienen de las zonas de crecimiento anormal del árbol, generalmente de dimensiones pequeñas y formas irregulares, algunas se tiñen.

- Pre-ensambladas, se obtiene combinando maderas de especies diferentes, con piezas de madera ensambladas de diferentes anchos, logrando bloques para la extracción de chapas muy vistosas.
- Pre compuestas, se obtienen rebanando un bloque de chapas de diferentes maderas, algunas de las cuales pueden entintarse previamente, resultando chapas de apariencia y consistencia prácticamente iguales a las naturales, de dimensiones uniformes y con vetas y colores consistentes.
- Con respaldo de papel, son chapas seleccionadas, lijadas y pre-flexionadas que se laminan a través de calor y presión con papeles especiales de 5 a 20 milésimas de pulgada, lo que permite que la chapa pueda ser aplicada en superficies curvas de un radio mínimo de 4 mm.

Para laminar cantos se venden bobinas de chapas de maderas naturales con soporte de papel, pre-pegados y sin pegamento, las hojas correlativas se unen en los extremos para mantener el continuado de la veta mediante finger Join, su ancho estándar es de 22 mm, 30 mm y 50 mm por 200 m de largo y las bobinas pre-pegado de 15 cm o más de ancho por 10, 60 o 125 m de largo. Las chapas se pegan con resinas sintéticas, termo fusibles o vinílica, si se quieren aplicar sobre plástico o metal puede usarse pegamento de contacto. La temperatura para el pegado de las chapas con adhesivo termo fusible es de 160° a 175° C.



Imagen 16. MDF enchapado de nogal, encino y okume.

Fuente: <https://www.muchoaterial.com/MDF/ENCHAPADO%NOGAL%ENCINO%OKUME>

Contrachapados

La madera contrachapada está compuesta por chapas de madera superpuestas con la veta cruzada a 90°, pegadas alternadamente, de cantidad variable pero siempre en número impar de modo que ambas caras exteriores tengan las fibras con la misma orientación reduciendo de esta manera los movimientos naturales de la madera. Los efectos de hinchazón, flexión y contracción se homogenizan en el plano de la placa, optimizando su resistencia.

Compensados

Se denomina compensado a los contrachapados compuestos de 3 láminas que tienen por lo general un espesor total de 3,2 mm y en algunos casos con maderas de alta calidad se hacen de 4 mm. Sus dimensiones estándar son de 210 y 220 cm de largo por 160 cm de ancho, se emplean para revestir bastidores y en ranuras dentro estructuras, para traseras y fondos de cajones en la construcción de muebles, mamparas, etc.

Multilaminado

Son contrachapados de chapas gruesas de 5 capas o más. Los movimientos naturales de expansión y contracción se limitan mucho en este tipo de placas, con gran resistencia a la flexión y compresión, en toda su superficie. Se fabrican diferentes tipos de tableros, flexibles, de alta resistencia y de variados tamaños y espesores. Contrachapado interior, también conocido como Triplay o madera terciada para uso en interiores suele presentar una resistencia limitada a la humedad, empleándose en muebles y elementos con superficies grandes que requieren estabilidad.

Contrachapado fenólico para exteriores se fabrica empleando adhesivos de resinas fenólicas, que le confieren resistencia a la podredumbre y disminuye el hoqueo de las capas del material, realizadas con láminas de madera dura y semidura, lo que permite el uso repetido de los tableros en encofrados de hormigón permitiendo hasta 7 reutilizaciones; muy aptos también para ambientes marinos, para el uso en embalajes se fabrican con chapas extraídas por débobinado, siendo sus fibras más homogéneas, brindan mayor resistencia a la placa.



Imagen 17. Contrachapados.

Fuente: <https://madecentro.wordpress.com/contrachapados/>

MDF

El MDF (Medium Density Fibreboard), es un tablero aglomerado de fibras de madera sin contenido de lignina, se emplean diferentes maderas para su fabricación, la más usada es el pino, pero también se usan otras como el abeto, haya y eucalipto, la madera pasa por un proceso de desfibración y deslignificación, se mezcla con adhesivos y aditivos a presión y con calor, formando grandes paneles homogéneos y compactos, de textura fina, con sus caras lisas.

Se fabrican dos calidades de paneles MDF Light y MDF Standard de distinta densidad, empleándose para la fabricación de muebles, construcción y arquitectura de interiores, siendo el MDF Light apto para moldurar. El espesor mínimo es 3.2 mm. Que puede estar revestido en una cara. Los siguientes espesores son variados, empleándose en la fabricación de muebles comúnmente los melamínicos de colores lisos o enchapados en madera de 15 mm y 18 mm.

El MDF se fabrica también con las siguientes presentaciones:

- MDF enchapado con láminas de pino, cedro y otras maderas, para mueblería en general.
- MDF con laminado melamínico de diferentes colores, brillos y materiales. Se emplean en muebles de cocina, baño, oficinas cielorrasos, revestimientos e instalaciones comerciales.

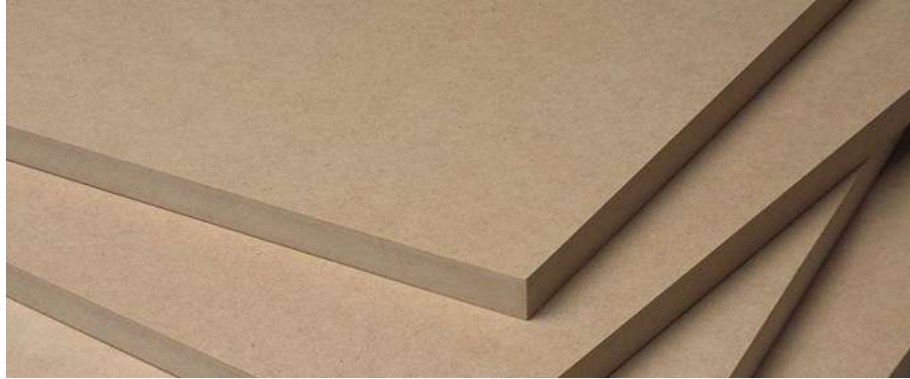


Imagen 18. MDF.

Fuente: <https://www.madererialahuerta.com/tableros.html>

Placas macizas

Éste tipo de placas compuestas están formados por una base de madera económica generalmente pino, hecha de listones pegados entre sí, recubierta en ambas caras con láminas contrachapadas cuyo espesor no debe superar el 13% del espesor de las tablillas que forman el alma para que sus movimientos de contracción y alabeo no sean transmitidos a éstas evitando que se deforme la placa, la dirección de sus fibras es cruzada a 90° con respecto a las tablillas y sirven de sustento a las chapas exteriores de maderas decorativas, que deben llevar las fibras orientadas paralelas al alma. Se usan en ebanistería y mueblería, cuando deben realizarse superficies grandes de madera costosas, con la ventaja sobre la madera maciza de reducir los movimientos de contracción, minimizando las posibles deformaciones de la superficie. Sus medidas estándar son 244 cm por 122 cm, y de espesores varios.

Placas más pequeñas pueden fabricarse en el taller teniendo ciertos cuidados, para el pegado puede emplearse adhesivos para madera. Debe tenerse en cuenta la disposición y dimensiones de los listones, los de sección

cuadrada tienen menos movimientos que los de sección rectangular, si se usan éstos últimos es recomendable que se coloquen unidos entre sí por sus caras, si se pegan uniéndolos por el canto se economizará material y tiempo de mecanizado. Sin embargo, debe procurarse que el ancho de los listones no sobrepase el doble de su espesor sino las ondulaciones y deformaciones de la placa por la contracción de los listones serán notorias.

No es necesario que los listones sean todos del largo de la placa, pueden alternarse piezas más cortas juntas en sus cabezas, pero sí debe evitarse emplear maderas con nudos. Siempre se deben colocar los listones con los anillos de crecimiento cruzados, se colocan juntando las caras izquierdas y derechas en forma alternada, siendo la cara derecha de una pieza de madera la que está orientada hacia el corazón y la izquierda la que se orienta hacia la albura.

Placas laminadas

Este tipo de tableros se compone de capas de madera maciza de 6 mm a 10 mm de espesor, intercalando capas con la fibra cruzada como el contrachapado, con las dos láminas exteriores con la veta dispuesta en el mismo sentido. Su ventaja principal que al estar constituido de láminas gruesas de espesores iguales o similares se obtiene un tablero de gran resistencia y estabilidad, poco deformable. Puede lijarse sin dificultad y al tener todos sus cantos con fibras a lo largo y de cabeza pueden moldurarse quedando con igual terminación y aspecto.



Imagen 19. Triplay laminado

Fuente: <https://www.foromadera.com>

Placas Finger Join

Toma su nombre por el parecido del ensamble empleado las uniones de sus piezas con la forma de dedos entrelazados. Es una placa de madera maciza sin enchapar, formada de piezas relativamente pequeñas sin nudos ni defectos, de aspecto uniforme, que se la puede trabajar y moldurar como si se tratara de una pieza entera de madera maciza.



Imagen 20. Tablero Finger.

Fuente: <https://www.maderea.es/tableros-finger-de-madera/>

5.9.2 Paneles y laminados plásticos

Los productos melamínicos y laminados plásticos proporcionan soluciones constructivas de diseños modernos y variados, para la fabricación estructural, de equipamientos de oficina y del hogar que combinan elegantemente en casi todos los ambientes y diversos materiales.

Hardboard-HDF (high-density fiberboard)

Es un conglomerado elaborado con fibras, obtenidas por desfibración termo-mecánica, en un proceso donde se precalientan las astillas ablandando la lignina la madera, separando luego las fibras en sus fibrillas individuales y formando una pulpa seca a la que se le agrega agua, formándose así una suspensión fibrosa que constituye una la hoja húmeda, que se prensa con una fuerza de 4200 toneladas, entre una chapa de acero que tiene un tejido inoxidable que permite la salida del agua de la pulpa y del vapor a medida que la hoja seca, entrecruzándose las fibras retenidas en la malla durante el filtrado, la otra cara superficie de la prensa tiene una chapa inoxidable pulida a espejo, lo que deja hoja de fibra con una cara lisa y brillante y la otra la cuadrícula del tejido inoxidable impresa. Este producto, se fabrica de diversas medidas 305, 275, 244, 213, 183 cm * 122 cm * 2.5, 3.2, 5, 6.5 mm.



Imagen 21. HDF natural.

Fuente: <https://welde-lessocenter.com/en/product/i53/HDF-natural.html>

Laminado plástico decorativo (lpd)

Consiste en un papel reforzado de varias hojas tipo "Kraff", impregnado con resinas fenólicas; sobre la que se aplica una capa impresa con un color pleno o diseños que imitan maderas, mármoles, etc. tratada con resinas melamínicas, y una cubierta adicional transparente tratada con las mismas resinas. Las hojas de papel son sometidas a presión (+ de 90 kg/cm²) y a una temperatura de 150° a 200° C, produciendo un laminado homogéneo, uniforme y resistente. Finalmente, la cara posterior es lijada para darle el grosor al laminado y preparar su superficie para que pueda recibir adhesivos en su posterior procesamiento con placas aglomeradas u otros materiales. Permite ser doblado en frío en cantos redondeados. Tiene colores estables, resistencia química, sirve como barrera antihumedad, no tiene poros y no favorece la proliferación de moho.



Imagen 22. Laminados decorativos.

Fuente: <https://todoenpolimeros.com/2019/01/30/laminados-decorativos/>

Melaminas

Son los tableros aglomerados y MDF recubiertos en sus caras con películas decorativas impregnadas de resinas melamínicas, con alta resistente al desgaste, impermeable y libre de poros, con variedad colores y símiles de maderas; utilizado en todo tipo de muebles de oficina, cocinas, baños e instalaciones comerciales.

Cantos melamínicos

Para laminar los cantos de las placas melamínicas se emplean cantos de papel con tratamiento melamínico que combinan en color y textura con los diseños del revestimiento de las placas. Se fabrican con pegamento y sin pegamento, en rollos de 16 mm hasta 60 mm de ancho y en medidas que van desde 10 hasta 250 m de largo.

Los cantos en su mayoría son termofusibles en su cara posterior, logrando adhesión al recibir calor de 180° a 220° C.



Imagen 23. Melaminas.

Fuente: <https://medium.com/@alejandroperez/introducci%C3%B3n-a-la-melamina>

OSB

Es un panel estructural de astillas o virutas de madera, orientadas en forma de capas cruzadas para aumentar su fortaleza y rigidez, unidas mediante adhesivos químicos aplicados bajo alta presión y temperatura. Este panel tiene alta resistencia mecánica, a la humedad, rigidez y buena aislación; como no posee acabado exterior se lo emplea cubriéndolo con diferentes tipos de revestimientos.

Por sus propiedades de uso casi exclusivo en la construcción de viviendas para bases de cubiertas de techo, paredes, pisos, escalas, vigas doble T, tarimas, en la construcción en seco se emplea por que otorga rigidez a las estructuras y tiene otras aplicaciones en mueblería y carpintería en general. Dimensiones 1.22 * 2.44 m Espesores 6, 9, 12, 15, 18, 25 mm.” (UJED, 2017)



Imagen 24. OSB.

Fuente: <https://www.constructor31.com/producto/osb-15mm-estructural/>

Bambú

La madera de bambú es una gran opción para el diseño de elementos estructurales, no tiene más de quince años desde que se le tomó importancia para estudiarlo, tiene un sinnúmero de usos y derivados por su excelente comportamiento.

Características de la madera de bambú

Lo primero que hay que decir es que la madera de bambú no proviene de un árbol, sino que es una hierba, lo cual trae bastantes cambios respecto a lo que estamos acostumbrados.

- **Color.** La madera de bambú tiene un color claro, casi blanco, de manera natural; sin embargo, es frecuente encontrarlo después de haber pasado por un proceso de tostado, lo que le puede otorgar tonalidades mucho más oscuras. Al ser una

hierba y no madera propiamente dicha el bambú no tiene albura, duramen o anillos de crecimiento.

- Densidad: Aunque pueda parecerlo no es un material liviano, en función de la especie, estamos ante densidades que van de los 500 kg/m³ a los 850 kg/m³ al 12% de humedad. Si fuera una madera podríamos decir que estamos ante una madera pesada.
- Dureza. Según la escala Janka (una escala que clasifica las maderas según su dureza y resistencia a golpes) el bambú tiene una resistencia superior al roble y muy superior al pino o al abeto, maderas muy comunes tanto en la fabricación de mobiliario como en la construcción. Entre 1410 y 1610 lb_f.
- Durabilidad: La durabilidad del bambú expuesto al exterior es limitada. Puede ser atacada por hongos e insectos.
- Resistencia a la humedad. Entre las características del bambú encontramos una resistencia a la humedad superior a la de muchas maderas, aunque no tanta como algunas tropicales, el ipé por ejemplo.
- Estabilidad. El bambú tiene una gran estabilidad, es decir, no se deforma al trabajarlo ni con el paso del tiempo, siempre y cuando se haya secado correctamente.
- Trabajabilidad: Según los estándares de carpintería, el bambú no es necesariamente difícil trabajar, pero dependiendo de la especie, puede requerir cuidados especiales. Las fibras de bambú tienden a partirse cuando se cortan en forma cruzada (se recomienda aplicar cinta en la línea de corte para evitar este tipo de desgarros). Además, el bambú es muy rico en sílice, de 0.5% a 4.0%, que se encuentra casi completamente en las capas más externas del tallo, por lo que se debe tener cuidado al procesar la madera. Se recomienda utilizar sierras

adecuadas, y se sugiere lijar la superficie en lugar de cepillar. El bambú se encola y acaba bien.

- Precio. Al tratarse de una especie de muy rápido crecimiento y al encontrarse en tantas y tan diversas zonas del planeta es una madera económica. En algunas ocasiones puede parecer que tiene un precio elevado, lo cual se debe normalmente a los costes de la importación o al tipo de procesamiento al que haya sido sometido.

Utilización del bambú

Los posibles usos de la madera de bambú son muy amplios. De la fabricación de muebles y utensilios, a la fabricación de andamios para la construcción pasando por la fabricación de tarimas o parquets.

Mientras que en Occidente ha sido difícil encontrar trabajos hechos con bambú hasta hace unos pocos años, en Asia es utilizado para fabricar casas, puentes o incluso templos.

Es normal encontrarlo en los formatos habituales, por ejemplo, en tableros o listones de diferentes medidas y espesores. Por tanto, cualquier profesional del mundo de la madera podrá utilizar la madera de bambú normalmente, como si de otro material se tratara.

Uno de los usos que más está recibiendo esta madera es el de la fabricación de parquets o tarimas. Se debe a que permite tener un suelo de gran resistencia, económico y que requiere de muy poco mantenimiento.

Existe una creciente demanda de bambú por parte de empresas y personas que manifiestan interés por el medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. Fuera de los usos relacionados con la madera el bambú puede

utilizarse para la fabricación de fibras textiles, para controlar la erosión de territorio e incluso como alimento.

Ecología del bambú

El bambú es una gramínea con una presencia importante en muchas zonas de Asia. También, podemos encontrarlo en muchas otras zonas del planeta a excepción de Europa, y del que existen más de mil especies diferentes. Una de las cualidades más destacadas de esta planta es su rápido crecimiento, que en periodos de 5 a 6 años puede llegar a alcanzar los 25 metros de alto y 30 centímetros de diámetro, no siendo necesario llegar a estas dimensiones para su explotación. Para alcanzar estos tamaños otras muchas especies de árboles necesitan 20 años o más.

No necesita que se hagan reforestaciones, ya que al ser una hierba crece fácilmente en cualquier lugar y de manera natural. Además, seguirá creciendo después de la tala. De ahí que no esté en riesgo de sobreexplotación.

Otras de las interesantes características del bambú es que durante su fase de crecimiento absorbe varias veces más CO₂ que muchas otras especies. Lo que la convierte en un sumidero de carbono (depósito de carbono natural) realmente importante.

¿Cómo se consigue la madera si es una hierba?

Una vez que se ha talado la planta, se quita la capa externa (piel verde) y se corta cada tallo de manera longitudinal, quedando una especie de círculos. Estos se abren y se estiran, de forma que quedan pequeñas tiras que tras pasar por un proceso de secado se unen para formar tiras mayores. (Maderame, 2019)



Imagen 25. Bambú.

Fuente: <https://www.royalarquitectura.com/placa-maciza-bamboo-12mm> (Sánchez, 2016)

6 Ventajas y desventajas de la madera

El uso de la madera en diferentes tipos de construcciones tiene ciertas desventajas, pero al mismo tiempo tiene grandes ventajas, en su mayoría la madera es usada como material de revestimiento, aislante o de decoración, se utiliza no solo en viviendas también es estructuras como puentes, edificios pequeños, centros, comerciales, pabellones.

Una ventaja muy importante de la madera en la construcción es que tiene la función de absorber y expulsar la humedad de las construcciones, regularizando así el ambiente interior. Las construcciones en madera, por sí solas, actúan como aislantes, al contrario de las que están fabricadas con otros materiales que, a la vez, y en la mayoría de los casos, están complementadas con sustancias aislantes sintéticas suplementarias. (Sánchez, 2016)

Otra ventaja de la madera es la relación resistencia-peso más favorable que el acero y mucho más favorable que el concreto. Además, la madera es un material que envejece naturalmente y este proceso puede durar hasta siglos, por lo mismo de que es un material natural, éste es biodegradable, reciclable, aislante y no es tóxico. Su resistencia, dureza, manejabilidad, propiedades físicas y mecánicas, aunado a ellos su capacidad decorativa la convierten en un producto ideal para la aplicación de proyectos arquitectónicos.

Material	Unidades de Energía requerida
Madera	1
Cemento	4
Recursos sintéticos	6
Acero	244
Aluminio	126

Imagen 26. Material y energía requerida. Fuente: http://es.drevdom.com/recursos_articulo-ventajas-construccion-madera-casas-de-madera.php?extern_link=1

6.1 Ventajas de la madera en la construcción

La madera tiene muchas ventajas sobre los otros materiales empleados a la construcción, a continuación, se enlistarán algunos de los más importantes.

1. El uso de la madera de manera correcta ayuda a combatir el cambio climático, ya que para ello se debe eliminar el CO₂ de la atmósfera y reducir las emisiones de carbono, la madera talada legalmente de alguna manera se las arregla para ello ya que la madera almacena carbono y consume mucha menos energía para su elaboración, contaminando en menor cantidad el aire y el agua.
2. La madera tiene muy buen comportamiento contra sismos, ya que posee una gran capacidad para absorber energía y para resistir cargas de impacto.
3. La madera es un material ligero con una alta capacidad de carga. Por lo tanto, las estructuras son más livianas y requieren cimentaciones menores.
4. Puede cortarse, trabajar en diversas formas y tamaños, con herramientas manuales sencillas o herramientas eléctricas manuales que facilitan transporte y utilización en el sitio de construcción.
5. La madera se puede ensamblar y pegar con adhesivos apropiados, unir con clavos, tornillos, pernos y conectores especiales, usando herramientas sencillas, obteniendo uniones eficientes, limpias, resistentes y durables.

6. La madera tiene excelente rigidez y resistencia. Es resistente a muchos productos químicos que son altamente corrosivos a otros materiales.
7. Es un material muy variable y ello le permite producir piezas estructurales con distintos tamaños, formas y funciones.
8. Por su bajo peso, la madera tiene un ahorro económico al momento de su transporte.
9. En su composición de fibras huecas contiene aire atrapado lo que le da la propiedad de aislante acústico, teniendo valores 10 veces superior al concreto y 5 veces superior al tabique.
10. Por lo mencionado de sus fibras es excelente aislante térmico y en este aspecto puede ser 6 veces más eficiente que el tabique, 15 que el concreto y hasta 400 veces más que el acero.
11. También como aislante eléctrico es eficiente, siempre y cuando la madera este seca, o sea, cuando su contenido de humedad es inferior al punto de saturación de la fibra.
12. El tiempo que se emplea al realizar una construcción de madera es menor, por ejemplo, una vivienda teniendo el mismo tamaño y distribución.
13. A la hora de una modificación es mucho más sencillo realizarla sin necesidad de demoler.
14. Siguiendo las normas y requerimientos de seguridad una construcción de madera puede retardar un incendio.
15. Es un material reciclable que se puede volver a utilizar en alguna otra construcción.
16. Hoy en día que se busca reducir los contaminantes al medio ambiente, el consumo de energía, beneficios económicos, ecológicos y de comodidad la madera cumple con todos estos.

Así como hablamos de ventajas de la madera sobre los otros materiales, también se deben mencionar ciertas desventajas que tiene. Se mencionan a continuación.

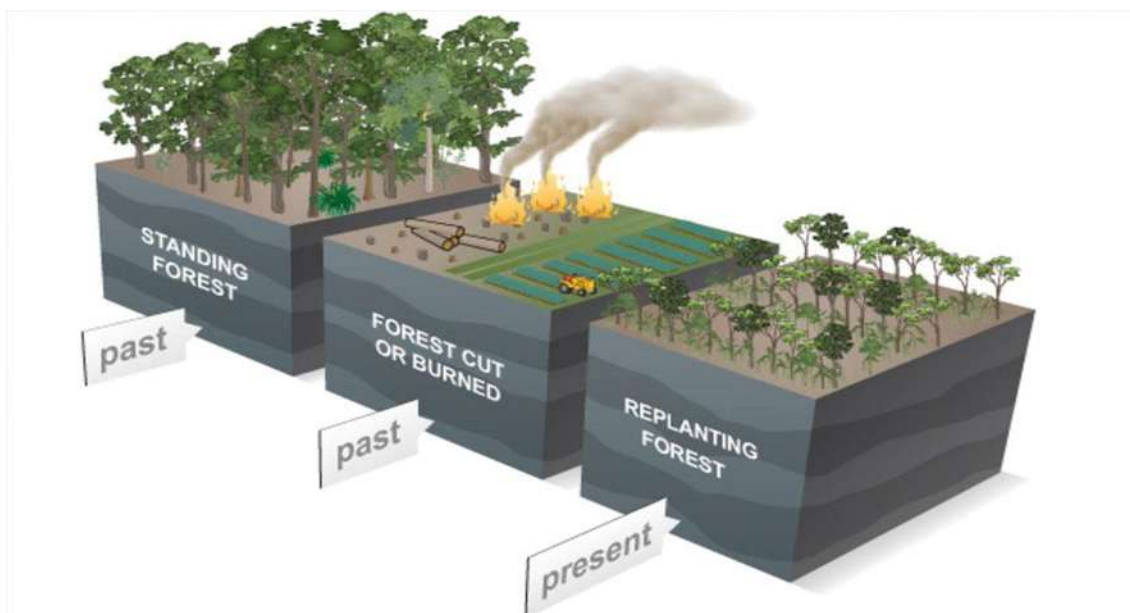


Imagen 27. Ciclo de la madera.

Fuente: <https://www.arquima.net/wp-content/uploads/2018/03/madera-1.jpg>



Imagen 28. Reciclaje de la madera.

Fuente: <http://icasasecológicas.com/10-ventajas-de-construir-con-madera/>

6.2 Desventajas de la madera en la construcción

1. Cuando no se le da un tratamiento de protección, la madera queda expuesta a ataques de insectos xilófagos o intemperie. Si bien la madera es resistente, es necesario un tratamiento de protección ya que sin él, la madera puede afectarse reduciendo su durabilidad.
2. La madera es un material ortótropo y por ello no posee la misma resistencia mecánica en todas sus direcciones, sino que varían con relación a la dirección de sus fibras. Esto puede generar inestabilidad en las estructuras si no se selecciona de manera adecuada la madera.
3. Es muy importante realizar un diseño casi perfecto (que es más importante que usando otros materiales) esto para asegurar la resistencia del edificio ante diversas condiciones ambientales, en constante cambio por factores bióticos e intemperismo.
4. Se tiene que realizar un mantenimiento más constante e impetuoso.
5. Es vulnerable frente al fuego.
6. Las grandes edificaciones realizadas hoy en día resultan limitadas en dimensiones.
7. Si la madera no proviene de explotaciones responsables, desaparece el concepto de "material sostenible".

7 Tratamientos para la madera

La madera, como todos los materiales de construcción, es susceptible de deteriorarse con el tiempo. Por su naturaleza orgánica los principales causantes de su deterioro son los organismos como ciertos hongos o insectos, además del intemperismo y el fuego, pero con técnicas preventivas y tratamientos de preservación adecuados se puede lograr que las estructuras de madera tengan una durabilidad comparable con la de otros materiales.

Un factor de gran importancia tanto en la durabilidad como en su comportamiento mecánico es el contenido de humedad. Por una parte, la humedad favorece la acción de ciertos organismos perjudiciales y por otra, afecta las propiedades mecánicas de la madera y está asociada a cambios volumétricos, es por ello que el contenido de humedad de la madera sea el más apropiado para el uso que se le va a dar, esto con los procedimientos de secado adecuados.

El tratamiento de la madera tiene como objetivo incrementar su vida útil o de servicio, la protección está basada en el tratamiento con productos adecuados. La protección debe ser tanto de agentes biológicos como físico del medio ambiente.

Existe una gran variedad de productos para tratar todo tipo de problemas en la madera como hongos, insectos, humedad, efecto del sol, el objetivo de éstos es prolongar la durabilidad de la madera y no se tenga que remplazar constantemente.

7.1 Intemperismo

El color de la madera expuesta a la lluvia, viento, sol y polvo, con el tiempo se transforma en grisáceo, debido a que las capas superficiales de fibras se deterioran por las hinchazones y contracciones que experimentan con los cambios de humedad, además, los polisacáridos de la madera están sujetos a hidrólisis, proceso que es acelerado por la energía de las radiaciones infrarrojas y ultravioletas del sol, lo que también perjudica la superficie de la madera.

El deterioro de la madera es relativamente sencillo de evitar, cubriéndola periódicamente con capas de pintura, barniz o algún material apto para este trabajo, que actúan como barreras a los rayos del sol y retardan la penetración de humedad y, por tanto, restringen los cambios dimensionales.

7.2 Humedad de la madera

Cuando hablamos de la madera y de su savia, es el agua contenida en la madera con todas las sustancias disueltas. La cantidad y los tipos de materiales diluidos en el agua de la savia varían según la especie, la parte del árbol y la época del año.

Las materias solubles de la albura están constituidas principalmente por azúcares y una cantidad muy pequeña de sustancias minerales, a diferencia del duramen donde se encuentran el tanino, resinas, materias colorantes y otras sustancias. La humedad de la madera verde puede variar del 30% al 25% o incluso más. La albura contiene normalmente más humedad que el duramen, las zonas a pie de tronco contienen más humedad que las situadas cerca la copa, también influye el sitio donde creció el árbol. Los árboles que crecen en zonas pantanosas contienen probablemente más humedad que aquellos que crecen en zonas secas. Sin embargo, llega a haber especies que crecen en zonas secas y contienen gran cantidad de agua. La cantidad de agua en la madera verde no varía apreciablemente con la época del año en que se corta el árbol.

La variación de porcentaje de humedad en la madera secada al aire se debe a la diferencia de las condiciones climáticas, tiempo de su apilamiento, posición y especie a la que pertenezcan, mientras que las variaciones del contenido de humedad en la madera secada artificialmente, puede ser por la ineficiencia mecánica del horno, por tiempo insuficiente de secado o por las diferentes características individuales que presentan las piezas durante el secado. La madera almacenada llega a tener un contenido de humedad más uniforme, es decir la madera con mayor contenido de humedad la pierden mientras que las más secas la absorben.

La madera acumulada se apila normalmente apretada, de modo que solo una pequeña parte de superficie llegue a estar en contacto con la atmosfera del almacén. El agua es retenida en la madera de dos maneras, como “agua libre” en las cavidades celulares que como “agua higroscópica” en las paredes celulares. El agua libre afecta a las propiedades de la madera únicamente en el peso, el agua higroscópica, sin embargo, afecta a las propiedades de la madera de varias maneras y es esta humedad la que resulta más difícil de eliminar durante el proceso de secado.

7.3 Higroscopicidad de la madera

La madera es notablemente higroscópica. Situada en un ambiente húmedo absorbe el agua que llena los vasos, radios y el material aglutinante y por el contrario si está situada en un ambiente seco cede el agua.

En los troncos y las ramas de los árboles, varían la cantidad de agua de la madera según sea la situación que ocupa en el mismo árbol, como ya se comentó anteriormente, el agua en la madera es mayor si es de terrenos y climas húmedos. Igualmente, en los arboles recién cortados pesa más la albura que el duramen ya que la primera tiene hasta 12.5% de agua y el segundo apenas llega al 3.5% y una vez que seca ocurre lo contrario.

En las maderas resinosas, la albura contiene mayor cantidad de agua que el duramen. La madera recién cortada verde o fresca, contiene el máximo de agua.

La madera recién cortada pierde de peso un 15% y en escuadra 30%, transcurridos de uno a tres años por secado natural; quedando siempre bajo el punto de saturación y alrededor del 12 al 15% de peso en seco en las frondosas y del 15 al 18% en las coníferas. Para que pierda este resto de agua de adherencia se tiene que forzar a un secado artificial en atmosfera seca, y entre 100 y 110°C de temperatura de tres a siete días.

La madera como producto higroscópico, está permanentemente absorbiendo o perdiendo agua, así podemos comprobar que, durante el transcurso del tiempo, la madera va perdiendo paulatinamente su humedad hasta que llega un momento a partir del cual su contenido de agua permanece invariable. Cuando cambia la humedad o la temperatura del aire, o ambos factores a la vez, el fenómeno se presenta de nuevo, advirtiéndose que el grado de humedad de la madera cambia en cada caso, también sucede el fenómeno de manera inversa, es decir, si una madera seca se traslada a un ambiente húmedo, ésta termina por absorber agua, aumentando su grado de humedad, pero siempre el mismo para cada atmósfera.

Transcurrido el tiempo adecuado, se establece siempre un equilibrio entre la humedad contenida en el aire que rodea la madera y el grado de humedad de ésta última. Una vez llegado a este punto, es cuando podemos hablar de que la madera ha alcanzado ya su equilibrio higroscópico.

7.4 Clases de riesgo para la madera

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 encuentra en 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. (Zanni, 2004, p. 117)

Existen diversas clases de riesgo que se tienen que tomar en consideración, como el grado de humedad durante su vida útil, el contacto con aguas saladas o dulces, su exposición a la intemperie, etc. De acuerdo con las categorías, estas se cuales se dividen en cinco grandes categorías.

Clases de riesgo	Características	Humedad	Clase de ataque	Ejemplos
1	Incluye los elementos que están bajo cubierta, completamente protegidos de la intemperie y no expuestos a la humedad.	<18%	Insectos xilófagos (Termitas y coleópteros)	Las carpinterías, parques, entarimados, vigas, revestimientos de madera etc.
2	Elementos bajo cubierta, se presenta una humedad elevada que puede producir humectación superficial transitoria pero no permanente.	<20%	Puede existir riesgo de ataques de mohos y otros hongos cromógenos, en tanto que por los insectos xilófagos, es similar a la clase 1	Elementos de madera colocados sobre desagües o instalaciones sanitarias, estructuras de piletas cubiertas, etc.
3	La pieza esta al descubierto, pero no en contacto con el suelo, lo que ocasiona que sufra humidificación frecuente	>20%	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 al de la clase 1	Revestimientos de fachadas, puertas, pórticos, puentes, pérgolas, pasarelas peatonales etc.
4	El elemento está en contacto con el suelo o con agua dulce y expuesto a humidificación permanente.	>20%	Ataque de termitas	Postes, pilares, cercas, pilotes, embarcaderos de río, etc.
5	El elemento está en contacto permanente con agua salada.	>20%	Además de los riesgos de ataque de la clase 4, se añade el de los xilófagos marinos.	Muelles y embarcaderos marítimos

Tabla. 1: Clases de riesgo, tomada de: Patología de la madera, Zanni Enrique

Para que un producto brinde la protección apropiada a una madera expuesta a la intemperie, debe concentrarse en las áreas vulnerables.

Las variables para medir la eficiencia de un producto de protección son:

1. Penetración. Es la capacidad que tiene un protector para alcanzar ciertas zonas de la madera tratada.

2. Retención. Es la cantidad de protector contenido por unidad de volumen realmente impregnado, o por unidad de superficie tratada en el caso de los tratamientos superficiales.
3. Distribución. Igualdad de retención en distintos sectores tratados.

Se denominan técnicas de tratamiento a los métodos empleados para introducir los protectores en la madera.

Los sistemas de tratamiento antiséptico de la madera pueden tener carácter de preventivos o curativos según se apliquen a la madera previamente a su puesta en obra, o cuando tienden a interrumpir un proceso de destrucción ya iniciado, eliminando por medios apropiados los agentes destructores y dejando a la madera protegida de cualquier nuevo intento de ataque.

7.5 Tratamiento preventivo

La utilización de especies de madera con durabilidad natural alta y el uso de detalles constructivos que defiendan la madera contra la acción de agentes destructores no ofrecen la protección adecuada, es necesario recurrir a la aplicación de algún preservante.

En la actualidad en México existen varios tipos de preservantes que pueden ser aplicados mediante diversos métodos, dependiendo en gran medida de la cantidad y tipo de madera por preservar, tipo de servicio y especialmente riesgo al que va a estar sujeta cuando este en servicio.

Los preservadores contienen una serie de principios activos, dependiendo de su composición química. En general estos productos son solubles en los líquidos corporales o celulares de los organismos. Al entrar en ellos bloquean la respiración o el metabolismo celular, inhibiendo o matando al organismo. (Hunt, 2007)

En el caso de algunos preservadores, su modo de acción consiste en actuar como repelentes, especialmente de insectos, las características que deben contener los preservadores son: ser tóxicos a los organismos destructores de la madera, penetrar fácilmente en la madera, ser poco lixiviables y tener alto poder residual, poder ser manejados y usados sin peligro a la salud, no dañar la madera ni los metales, ser accesibles, económicos y ser fáciles de aplicar, algunos de estos son limpios, incoloros, compatibles con pinturas, barnices y resistentes al fuego.

Las soluciones de preservadores más conocidas y usadas en México son a base de creosota, pentaclorofenol, y sales de cobre, cromo y arsénico.

La creosota es un producto de la destilación de carbón bituminoso, consistente en una mezcla de más de cuarenta importantes compuestos tóxicos a hongos e insectos. Su aplicación por lo general es por medio de métodos a base de presión. Desventajas para ciertos usos sin el hecho de que la superficie de la madera queda muy sucia, imposibilitando su pintado, y el mal olor que despide.

El pentaclorofenol es un compuesto de cloro y fenol de forma de polvo verde-grisácea. Es soluble en aceites y generalmente se aplica con concentración de 5%.

Se pueden utilizar aceites ligeros claros, con los que se obtienen buenas apariencias de la madera tratada que, además puede pintarse. Su aplicación puede ser por inmersión, aspersion o a base de métodos a presión. Las sales hidrosolubles de cobre, cromo y arsénico, comúnmente llamadas sales CCA, vienen en varios tipos. Todos ellos contienen básicamente los mismos elementos tóxicos a los organismos destructores de la madera, pero en diferentes proporciones, razón por la cual la cantidad de sales requerida por unidad de volumen varía según el tipo. Todos los tipos de estas sales son igualmente efectivos. La madera tratada con ellas queda limpia y se le puede aplicar toda clase de acabados. Por lo general, en la madera se impregnan métodos a

base de presión. Una desventaja es que es necesario volver a secar la madera después de tratada.

En la madera tratada, los preservadores oleosos penetran a los espacios intercelulares, mientras que los hidrosolubles reaccionan químicamente y se precipitan en las paredes celulares. Existen diversos métodos de aplicación de los preservadores que son desde uno de uso doméstico hasta los que requieren plantas de impregnación modernas, esto depende del grado de impregnación que se desee.

Las técnicas habitualmente utilizadas antes de la puesta en obra de la madera, pueden clasificarse en dos grandes categorías, que se mencionan en los siguientes apartados.

7.5.1 Técnicas sin presión

Corresponden a los tratamientos pasivos, basados en la capacidad natural de la madera para absorber el protector, siendo la cantidad de producto absorbido irregular y no controlado. Entre ellas se encuentran pulverización, pintado, inmersión breve, inmersión prolongada en frío, inmersión caliente y fría y difusión.

- Pulverización y pintado: Es un procedimiento sencillo, que requiere baja inversión de equipos. Consiste en el extendido adecuado de un protector que penetra el sustrato por capilaridad, aunque para ello deben usarse productos de baja viscosidad.

En la técnica de pintado la madera debe estar seca es decir que su contenido de humedad sea inferior al 18%.

- Inmersión y pintado: Consiste en la inmersión de la madera en una solución del protector durante un tiempo corto no más de 10 minutos. El procedimiento es más efectivo que el anterior, aunque no mucho ya que el tiempo limita la penetración del producto.

- Inmersión prolongada en frío: La mayor parte de absorción tiene lugar durante el primer día de tratamiento, sin embargo, la prolongación de la inmersión aumenta la penetración y la retención. Esta técnica da resultados aceptables con madera secada al aire.
- Inmersión en caliente y frío: Este procedimiento es el más eficaz dentro de las técnicas sin presión. Su efectividad se atribuye al vacío que se produce en el baño caliente, que origina primero la dilatación y luego la expulsión del aire contenido en las células. La inmersión inmediatamente posterior en el baño frío, ocasiona la contracción del aire residual.
- Difusión: Este método se emplea sobre madera húmeda (contenido superior al 28%), una sal soluble aplicada con la concentración adecuada, penetra gradualmente por difusión a través de la propia agua existente en la madera.

7.5.2 Técnicas con presión

Corresponden a los tratamientos activos ya que se basan en métodos artificiales, siendo controlable la cantidad de producto absorbida por la madera. Estos sistemas incluyen todos los métodos que utilizan la autoclave. Las técnicas más frecuentes son la de célula llena y célula vacía.

Estos sistemas son los más efectivos, presentando el inconveniente de necesitar instalaciones adecuadas. Se aplican sobre madera seca teniendo mayor penetración, son los más apropiados cuando existe grave riesgo de destrucción.

La madera se coloca en autoclave de impregnación, cuyas condiciones de presión y temperatura están perfectamente controladas reguladas a fin de hacer penetrar el protector de manera forzada.

De la regulación y variación de la presión y temperatura, surgen distintas variantes de las técnicas de tratamiento:

- Técnicas de célula llena: Tiene como objetivo conseguir el máximo de retención del antiséptico en la madera tratada. Un vacío preliminar extrae, según su intensidad el mayor aire posible contenido en las células, el cual obstaculiza la penetración del protector al aplicar la presión. Este vacío preliminar es seguido inmediatamente por la inyección a presión del producto, que llena los espacios vacíos de la estructura de la madera. Dicha presión oscila entre 9 y 14 kg/cm².
- Técnicas de célula vacía: En este tipo de técnica no queda protector en el lumen de la célula, ya que este fue expulsado por el aire de las células que fue previamente comprimido. El tratamiento comienza con la introducción en la autoclave del antiséptico a utilizar, seguido de un fuerte aumento de la presión 9 a 10 kg/cm², que ayuda a que el producto penetre en la estructura celular. Luego se disminuye bruscamente la presión hasta lograr un vacío final que favorece la expulsión del protector contenido en el lumen, quedando solo así el producto retenido por la pared celular.
- Técnicas de vacío-vacío: Es un tratamiento que consta de las siguientes operaciones: vacío previo para extraer parte del aire de la madera, continuando con la inyección del protector volviendo a la presión atmosférica o bien en algunos casos aplicando presiones reducidas (dos atmosferas como máximo) y vacío final con el objetivo de regular la retención del protector, que es siempre orgánico. De este modo se consigue un protector perimetral de la pared celular sin rellenar totalmente el lumen de las células. Este procedimiento se adapta bien a las necesidades de la madera de construcción, siendo una de los más utilizados junto con el de inmersión breve.

7.6 Protección contra fuego

Uno de los factores que más ha contribuido al rechazo de la madera como material de construcción en México es el ser combustible. Sin embargo, como se demuestra en base a experiencia de otros países, las estructuras de madera, bajo determinadas condiciones, tienen

un comportamiento bajo la acción de incendios superior al de muchas estructuras de materiales incombustibles.

“Un miembro de madera de condiciones robustas conserva su capacidad de carga en un incendio durante mayor tiempo que un miembro de acero de igual resistencia.” (Proceedings of the Symposium held at Fire Research Station, 2001)

La madera sometida a altas temperaturas sufre una descomposición pirolisis, produciéndose alquitranes y gases que al mezclarse con aire pueden inflamarse. La temperatura a la que se inicia la combustión es de 330 a 600°C, dependiendo del calor que sea transmitido por el aire o transmitido por otros cuerpos. La madera expuesta a temperaturas de 200 a 300°C, desprende gases inflamables y es la ignición de estos gases lo que causa que la madera se quemee.

En la resistencia de la madera al fuego, es muy importante la relación entre forma y dimensiones de la pieza.

El objetivo es impedir o retrasar la combustión, evitando los daños y riesgos producidos en un incendio, también puede denominarse “Retardadores de combustión”. Este tipo de protección modifica su reacción al fuego, disminuyendo el nivel de combustibilidad e inflamabilidad de la madera mediante su tratamiento con diversos productos químicos o protegiéndola con otros materiales incombustibles que actúen de pantalla e impidan que el calor llegue hasta ella.

Pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- Por acción mecánica: Están comprendidos todos los protectores constituidos por revestimiento y placas, incluyendo pintado y pulverización. Su modo de trabajo consiste en impedir al máximo el contacto del oxígeno con la madera.

- Por modificación de la temperatura de descomposición: Se basan en el aumento de la temperatura de descomposición por calor, de la madera ignífuga. Este aumento se puede conseguir a través de la higroscopicidad de los productos ignífugos utilizados, que absorben agua de la atmósfera y que posteriormente la liberan por efecto del calor junto con el agua de cristalización propia de esos productos.
- Por formación de espuma: Están constituidos por sustancias que producen gases no combustibles que al mezclarse reduce la concentración de gases combustibles disminuyendo, por consiguiente, la facilidad de ignición.
- Por carbonización de la madera: Aumentan la carbonización del material a bajas temperaturas, incrementando así el aislamiento térmico de las capas internas para impedir o retardar su calentamiento.

Aunque a la fecha no se ha encontrado ningún tratamiento que concierne a la madera en un material incombustible, existen diversos productos que aumentan el tiempo de resistencia al fuego de la madera. Estos productos retardantes de fuego actúan en varias formas: aumentan la temperatura requerida para la ignición, impiden la combustión sostenida, y los gases que producen altas temperaturas diluyen a los gases inflamables y disminuyen la velocidad de propagación de las llamas.

Los retardantes de fuego más efectivos son las soluciones de fosfato amonio, dibásico de amonio, ácido fosfórico, sulfato de amonio, bórax, ácido bórico y cloruro de zinc. El más efectivo es el fosfato de amonio ya que no solo reduce la inflamabilidad de la madera, sino que evita la formación de brasa.

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.

Los preservadores eliminan el factor Alimento para los agentes destructivos de la madera. A medida que la técnica de preservación se ha ido perfeccionando, la madera ha adquirido mayores posibilidades de uso. Actualmente se la emplea en condiciones muy severas, como es el contacto directo con el suelo, sumergidas en el agua en los difíciles climas tropicales. En consecuencia, la madera preservada se considera hoy en día como un material de larga duración.

Incluye no sólo la aplicación de sustancias químicas para la impregnación de la madera, sino que también podrían utilizarse feromonas sintéticas o cebos para controlar y/o eliminar los agentes de deterioro, especialmente los insectos.

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. Como ejemplo, de usos en exteriores, podemos mencionar cubiertas de madera, cercas, muebles para parques y jardines y estructuras marinas.

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.

La madera tratada debe impregnarse de acuerdo con normas internacionales porque en ellas se establecen las especificaciones de acuerdo con el nivel de riesgo al que va a estar expuesta la madera. En México se utilizan la norma NOM y NMX; en Estados Unidos las normas de la Asociación Americana de Preservadores de Madera (AWPA) y las normas de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM); y en Europa, las normas europeas UNE EN. (CONAFOR y UMSNH, 2011)

Es más sencillo, eficiente y mucho más económico prevenir daño a la madera causado por alguno de los factores mencionados con anterioridad.

8 Propiedades mecánicas de la madera estructural

Los árboles están diseñados por la naturaleza para resistir los diversos esfuerzos a los que van a estar sometidos a lo largo de su vida, los cuales son principalmente flexión, la cual es causada por el viento y los de compresión, causados por las acciones gravitatorias.

La madera, por ser un producto orgánico, es un material complejo y variable. Por su procedencia, las características de resistencia, estructura, forma y rapidez de crecimiento dependen particularmente del clima y suelo.

Algunas maderas son fuertes y resistentes a la flexión cuando son sometidas a cargas. Otras son débiles; algunas se flexionan fácilmente, pero resisten a la ruptura, mientras que otras se rompen cuando las fibras están sujetas a sobrecarga. Algunas resisten las fuerzas de compresión que tienden a compactar las fibras, mientras que otras son aplastadas bajo la misma carga.

Se puede llegar a creer que entre más pesada sea la madera más fuerte es, pero esto se puede clasificar en su exacta dimensión si se sabe que dos piezas del mismo árbol pueden diferir en resistencia por la forma en que han sido cortadas del tronco afectará su resistencia, así mismo una madera puede ser más fuerte por no contener nudos o más débil en caso de contenerlos.

El crecimiento también puede afectar la resistencia. Una pieza de madera blanda, que depende principalmente de los anillos de la albura de verano para su resistencia, es mucho más fuerte cuando crece lentamente que una pieza que crece rápidamente. Lo opuesto ocurre con las maderas duras; las maderas duras de crecimiento lento especialmente la variedad porosa de anillos, son débiles cuando se comparan con las de crecimiento rápido porque dependen de las fibras para su resistencia. Así mismo el contenido de humedad afecta la resistencia: la madera seca es más fuerte que la madera verde.

Los factores que más influyen en las propiedades mecánicas de la madera son el contenido de humedad y la duración de la carga. Uno de los factores más importantes en su resistencia es la calidad de la madera y esta depende de ciertas particularidades como lo son los nudos, desviación de las fibras, etc.

Las fibras que componen la madera dan lugar a la anisotropía de su estructura por ello en sus propiedades mecánicas se tiene que distinguir entre la dirección perpendicular y la dirección paralela a las fibras. Esta es la principal diferencia de comportamiento con otros materiales utilizados en estructuras como el acero y concreto. Las resistencias y módulos de elasticidad en dirección paralela a las fibras son mucho más elevados que en dirección perpendicular.

Las características físicas de la madera varían de un punto a otro en el mismo árbol y sus características resistentes varían según la dirección considerada. La madera puede idealizarse como un material ortótropo en el que se distinguen tres direcciones mecánicas o estructurales, perpendiculares entre sí, que coinciden con las direcciones longitudinal, radial o tangencial del árbol. Por ende, se deben considerar tres propiedades mecánicas que es uno por cada eje; sin embargo, las propiedades en los sentidos tangencial y radian no varían, por tanto, en el diseño de estructuras de madera solo se deben identificar la propiedades paralelas a las fibras y propiedades perpendiculares a las fibras.

Las relaciones esfuerzo-deformación son muy variables dependiendo la especie, la forma en que se hace la prueba, el tipo de acción las características de crecimiento entre otros factores. Cualquiera que sea el tipo de esfuerzo, la gráfica esfuerzo-deformación es semejante a la que se muestra en la imagen 25. En la primera parte la gráfica prácticamente es recta, pudiendo suponerse proporcionalidad lineal entre esfuerzos y deformaciones, como en un material elástico ideal. A partir del límite de proporcionalidad, que suele corresponder a un esfuerzo relativamente alto, las relaciones esfuerzo-deformación dejan de ser lineales.

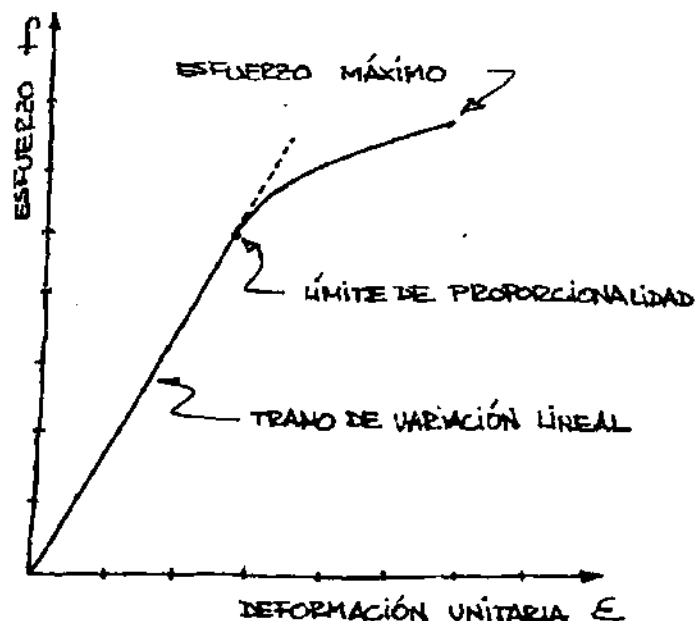


Imagen 29. Curva esfuerzo-deformación.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Curva-esfuerzo-deformacion_fig1_237041185

En lo relativo a la tensión, la madera tiene su resistencia máxima en dirección paralela a las fibras, suele ser superior que la resistencia a las demás acciones mecánicas, en la imagen 26, se presenta una gráfica de esfuerzo-deformación típica, la deformación es proporcional a la carga, prácticamente hasta la carga máxima y que el límite de proporcionalidad no está bien definido. Como medida de la resistencia suele tomarse el módulo de rotura, es decir, el esfuerzo al fallar en la fibra. Este criterio es conservador puesto que los valores obtenidos de pruebas de flexión son menores que los que resultan de pruebas de tensión axial. Esto resulta conveniente ya que la resistencia a la tensión de la madera es muy sensible a los defectos e irregularidades en la orientación de la fibra.

Un elemento de madera con contenido de humedad del 12%, la resistencia a tensión paralela a las fibras puede variar desde 300 kg/cm² hasta 3000 kg/cm² según la densidad de la especie. Los pinos mexicanos oscilan en 800 kg/cm².

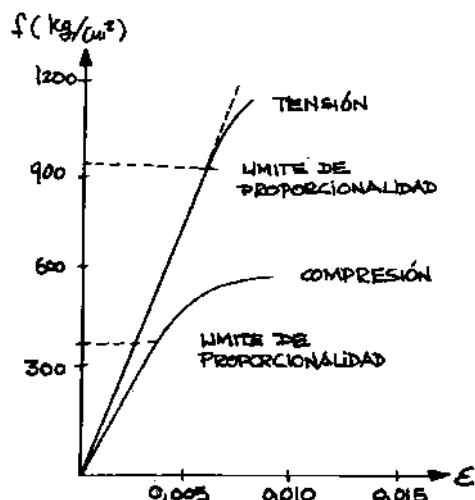


Imagen 30. Curvas esfuerzo-deformación unitaria en tensión y compresión. Curva esfuerzo-deformación

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Curva-esfuerzo-deformacion_fig3_237041188

La resistencia en compresión es casi del mismo rango que la de tensión, con excepción de algunas maderas duras, la resistencia de la madera a compresión en dirección paralela a las fibras varía aproximadamente de la mitad a la tercera parte de su resistencia a tensión en la misma dirección. Esta diferencia se explica por influencia de fenómenos de pandeo en las fibras individuales de la madera y cuyo comportamiento puede compararse con el de una columna. En la imagen 26, mostrada anteriormente, se observa una curva esfuerzo-deformación de madera sometida a compresión longitudinal, el comportamiento en compresión es elástico.

La resistencia a compresión paralela a las fibras con un contenido de humedad de 10% varía de 100 a 1600 kg/cm² según la densidad de la especie. Los pinos mexicanos están alrededor de 450 kg/cm² con un contenido de humedad del 12%.

La resistencia a la compresión de las fibras está ligada a la dureza y a la resistencia al corte perpendicular a las fibras, pueden llegar a ser semejantes a la resistencia en compresión paralela a las fibras. Pero, para poder desarrollar la resistencia máxima es necesario aplastar las células hasta que los huecos desaparezcan, las deformaciones altas que esto implica impiden el aprovechamiento estructural de la resistencia teóricamente disponible; por ello, para efectos

prácticos, se toma como resistencia aprovechable el esfuerzo correspondiente al límite de proporcionalidad, y cuando este no está disponible, se toma un valor del 20% de la resistencia a compresión paralela a las fibras.

Cuando una carga alcanza su valor máximo sobre la madera, esta sigue deformándose paulatinamente a medida que la carga va disminuyéndose. Por ello, en la flexión estática la fractura de la madera no es repentina.

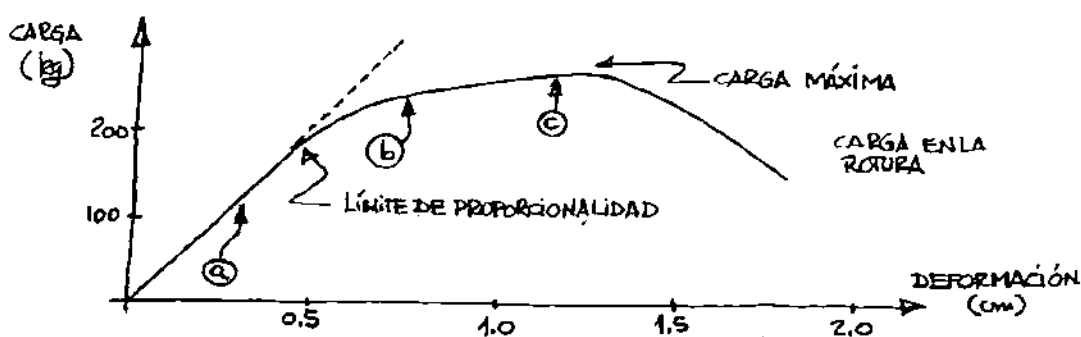


Imagen 31. Diagrama de carga-deformación.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-diagrama-flexion_fig5_237041187

Para valores de la carga transversal menores al límite de proporcionalidad, la distribución de esfuerzos, si la sección de la muestra es simétrica, lineal y el eje neutro, se encuentra a la mitad del peralte, nos indica que para niveles bajos de carga la madera se comporta en flexión, como material elástico, y a medida que la carga se aproxima a su valor máximo, la distribución de esfuerzos deja de ser lineal y la profundidad del eje neutro aumenta como se muestra en la imagen 15 en el diagrama b y c.

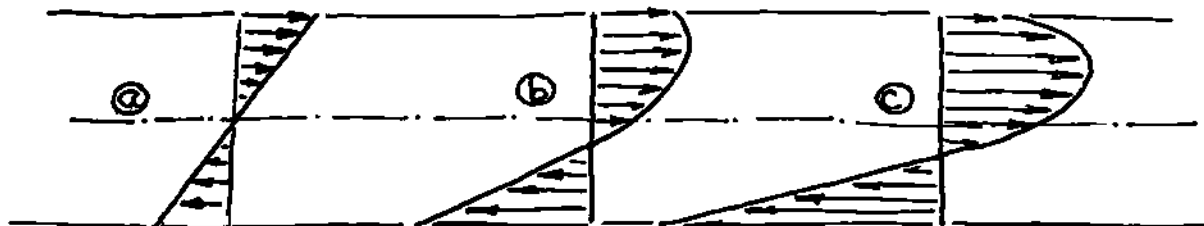


Imagen 32. Distribuciones de esfuerzos en miembros sometidos a flexión creciente.
Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-distribucion-esfuerzos-flexion_fig5_237041190

Este comportamiento se debe a las diferencias en las relaciones esfuerzo-deformación de la madera sometida a compresión o tensión. Las fallas por flexión se inician con el aplastamiento de las fibras sometidas a compresión, a la que le sigue la rotura de las fibras en tensión. Se produce por un momento flector, provocando valores máximos de tensión y compresión en sus extremos y nulos en la fibra neutra. La resistencia de la madera a la flexión es elevada principalmente en las coníferas la cual varía entre los 14 y 30 N/mm²., esta propiedad es importante en elemento de vigas, viguetas, etc.

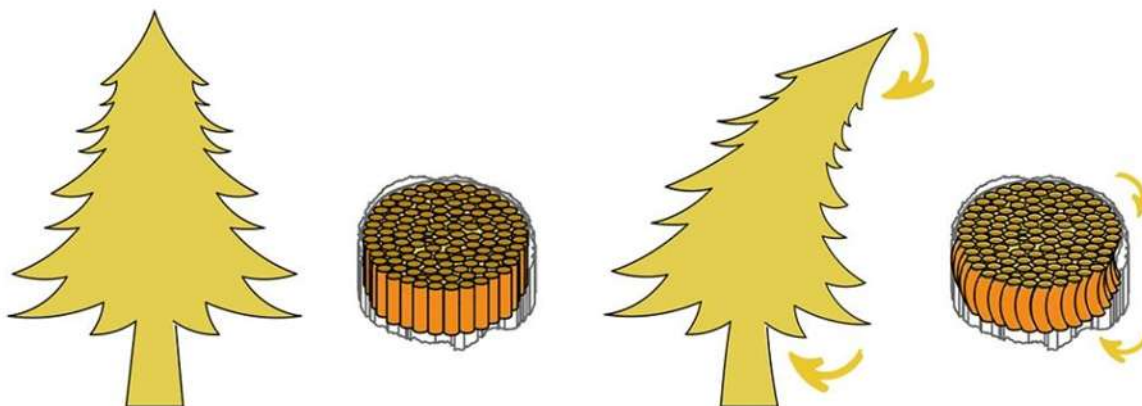


Imagen 33. Flexión de la madera.

Fuente: <https://tocamaderablog.com/propiedades-mecanicas/>

El módulo de ruptura es la medida más usual de la resistencia a la tensión de la madera. Dependiendo de la densidad de la especie de madera de la que se trata, los valores del módulo de rotura varían de 300 a 2100 kg/cm². Las especies de pino de México tienen valores alrededor de 850 kg/cm².

El trabajo hasta el límite de proporcionalidad indica la energía que la madera puede absorber bajo flexión estática sin sufrir deformaciones permanentes y son el trabajo requerido para alcanzar el esfuerzo máximo y el trabajo total es decir el trabajo necesario para producir la falla, esto es una medida de la tenacidad de la madera que es la capacidad para absorber energía. La tenacidad es una propiedad en elementos estructurales sometidos a cargas. Un elemento estructural con un grado de tenacidad exhibe deformaciones notables antes de la falla.

La resistencia de la madera a esfuerzos de torsión en el límite de proporcionalidad es aproximadamente igual al 70% del esfuerzo cortante correspondiente a la falla.

La resistencia a la hendidura es la propiedad que ofrece la madera a ser rajada en el sentido longitudinal, o a la propagación de grietas que se pueden presentar por la penetración de un elemento.

La dureza de la madera generalmente se mide con la prueba de Janka que consiste en penetrar la madera con una esfera de acero de 11.28mm a una profundidad de 2.82mm. La dureza de las superficies radial o tangencial son prácticamente iguales. Las maderas de México tienen durezas en las superficies laterales que van de los 100 kg a 550 kg, la dureza en la superficie transversal varía de 150 kg a 1550 kg.

Módulo de elasticidad. Es la medida de la tenacidad y rigidez del material, o su capacidad elástica. Mientras mayor sea el valor del módulo, más rígido es el material. El módulo tiene una relación directa sobre la deformación de las piezas y su posibilidad de pandeo. En la madera este valor neutraliza parte de la resistencia a compresión paralela. Un módulo de elasticidad bajo

reduce, en la práctica, la resistencia a la compresión en piezas esbeltas. El valor en la madera varía entre 7,000 N/mm² y 12,000 N/mm², dependiendo de la calidad y del elemento utilizado. Se toma en la dirección perpendicular a la fibra, análogamente, un único módulo de elasticidad cuyo valor es 30 veces inferior al paralelo de la fibra.

Cortante. El esfuerzo cortante produce tensiones tangenciales que actúan sobre las fibras de la madera en relación a la orientación de las mismas y de distintos modos.

- Tensiones tangenciales de cortadura: las fibras son cortadas transversalmente por el esfuerzo, el fallo se produce por aplastamiento.
- Tensiones tangenciales de deslizamiento: el fallo se produce por el deslizamiento de unas fibras con respecto a otras en la dirección longitudinal.
- Tensiones tangenciales de rodadura: el fallo se produce por la rodadura de unas fibras sobre otras.

En piezas sometidas a flexión y a cortante, las tensiones que intervienen son conjuntamente las de cortadura y deslizamiento, sus valores están entre 1,7 y 3,0 N/mm² mientras que las tensiones tangenciales por rodadura de fibras solo se producen en casos muy específicos y aquí el valor esta entre 3 y 4 N/mm².

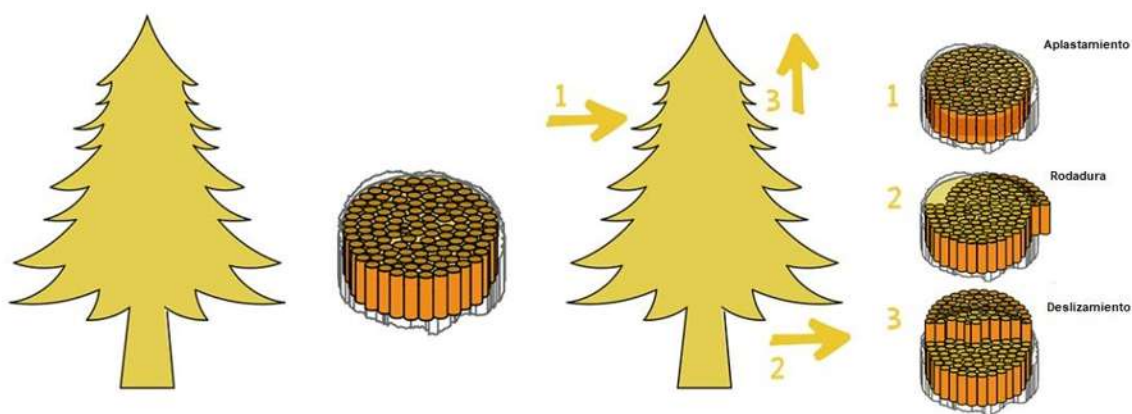


Imagen 34. Cortante de la madera.

Fuente: <https://tocamaderablog.com/propiedades-mecanicas/>

Tracción paralela a la fibra: La madera tiene resistencia elevada a la tracción paralela a la fibra, en elementos que no tengan defectos se pueden alcanzar valores de 8 hasta 18 N/mm².

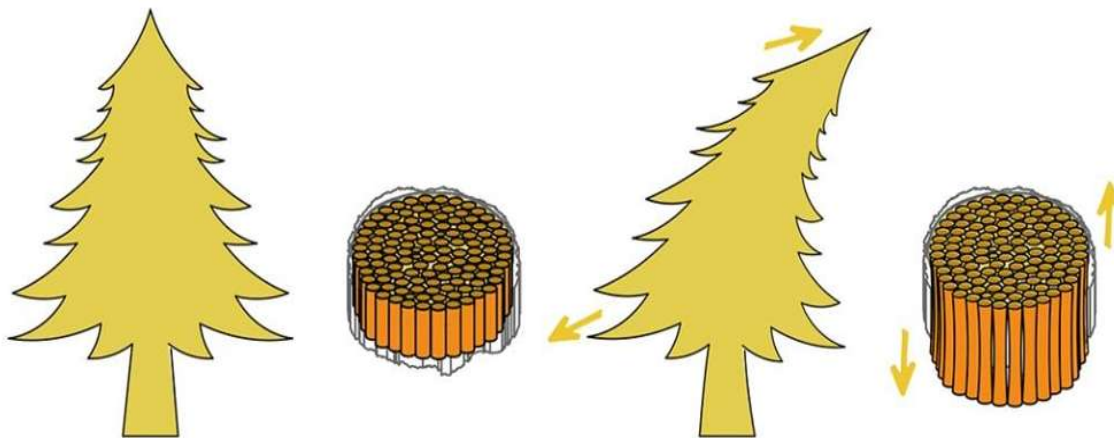


Imagen 35. Tracción paralela a la fibra.

Fuente: <https://tocamaderablog.com/propiedades-mecanicas/>

Compresión paralela a la fibra: el problema que presenta es el pandeo de la pieza, el cual está directamente relacionado con su esbeltez, e influenciado por el módulo de elasticidad. Puede llegar a valores de 16 a 23 N/mm². Esta propiedad es importante en pilares.

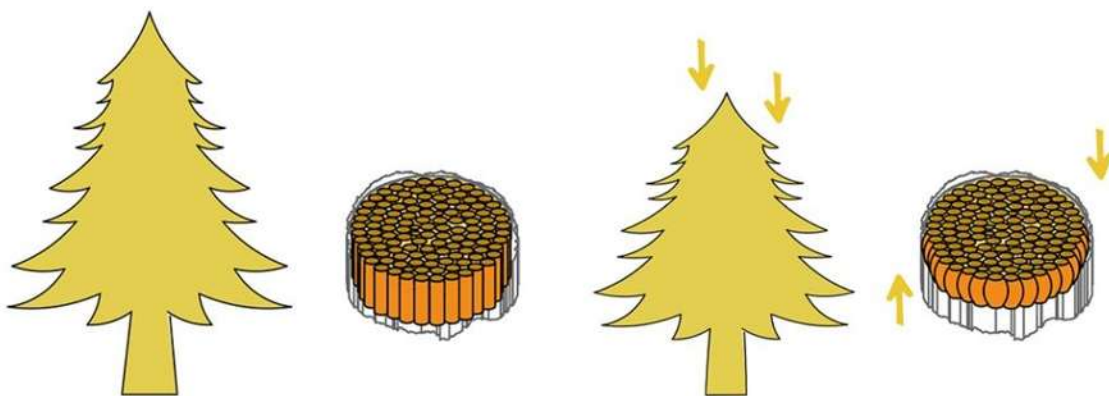


Imagen 36. Compresión paralela a la fibra de la madera.

Fuente: <https://tocamaderablog.com/propiedades-mecanicas/>

Tracción perpendicular a la fibra: En este esfuerzo las fibras actúan hacia el exterior de la madera. Este esfuerzo ocurre muy rara vez en un árbol; por lo tanto, sus necesidades son muy bajas y por ello la madera tiene pocas fibras en dirección perpendicular al eje del árbol, falta de conexión, sujeción transversal de las fibras longitudinales. Este valor está entre $0,4 \text{ N/mm}^2$ y $0,6 \text{ N/mm}^2$. En la aplicación de estructuras esta propiedad es crítica en piezas de directriz curva como arcos o vigas curvas, etc. Así mismo, en zonas de cambio brusco de directriz. Estas tensiones de tracción también se pueden producir como consecuencia del libre movimiento transversal de la madera en soluciones constructivas incorrectas, que pueden ser evitadas con el conocimiento del material.

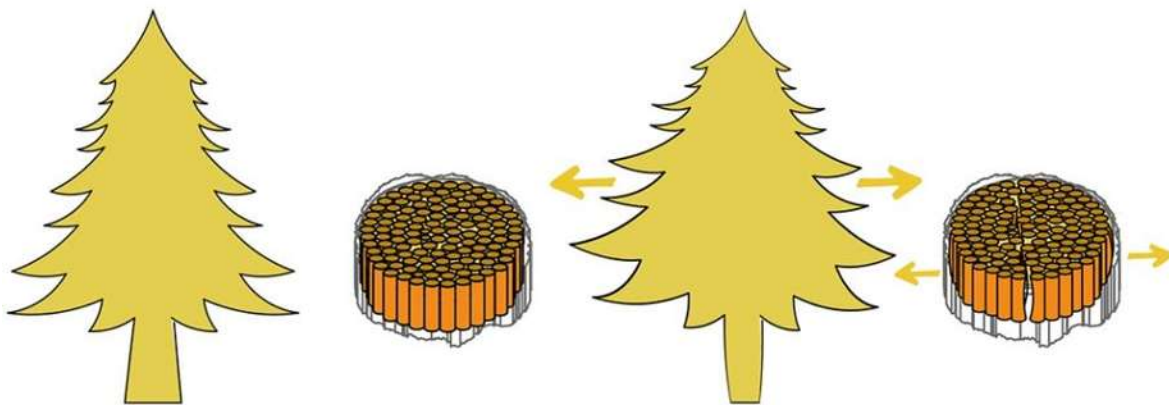


Imagen 37. Tracción perpendicular a la fibra de la madera.

Fuente: <https://tocamaderablog.com/propiedades-mecanicas/>

Compresión perpendicular a la fibra: Es un esfuerzo que se produce hacia el interior de la madera, es característico en las zonas de apoyo de vigas, donde se concentra toda la carga en pequeñas superficies, el valor de resistencia es inferior en relación con la resistencia paralela varía de $4,3$ a $5,7 \text{ N/mm}^2$.

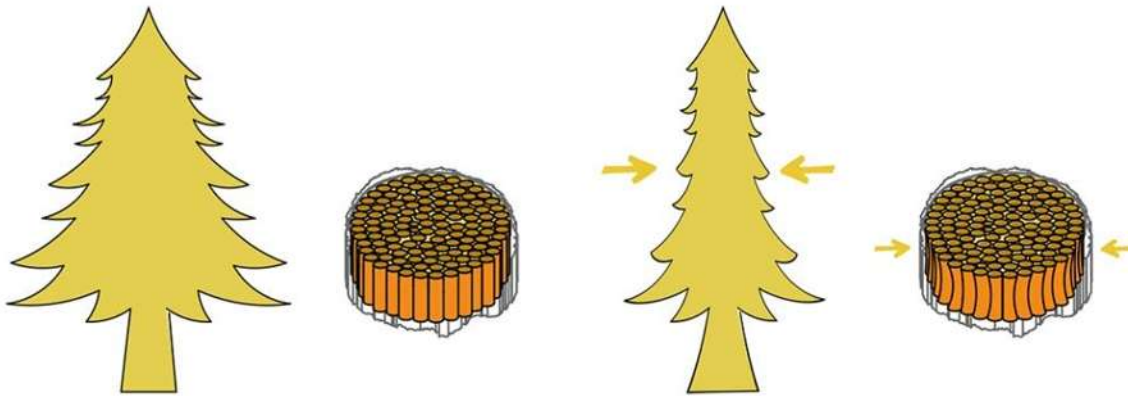


Imagen 38. Compresión perpendicular a la fibra de la madera.

Fuente: <https://tocamaderablog.com/propiedades-mecanicas/>

La resistencia de la madera disminuye considerablemente con la duración de la carga. Cuanta mayor sea la duración de la aplicación de la carga menor será el valor que debe alcanzar la carga para producir la falla, la carga requerida para ocasionar la falla después de un periodo de diez años será alrededor del 60% de la necesaria en una prueba estructural normal.

Los factores que suelen influir en el comportamiento y la resistencia de la madera es como en cualquier material orgánico sus propiedades son variables, existen diferencias importantes entre árboles de diferentes especies e incluso en árboles de la misma especie y también en elementos del mismo árbol, esto se debe a la estructuración orgánica y a factores como la humedad, temperatura del medio ambiente, sistema de secado y temperatura.

9 Armaduras

Las armaduras son uno de los principales tipos de estructuras en la ingeniería. Ésta proporciona una solución práctica y económica para diversas situaciones, en especial para diseño de puentes y edificios. Una armadura tiene elementos rectos que se conectan en nodos. Los elementos de la armadura solo están conectados en sus extremos por esa situación ningún elemento está más allá del nodo. La mayoría de las estructuras están hechas por varias armaduras unidas entre sí, formando una armadura espacial. Las armaduras son diseñadas para soportar cargas que actúan en su plano y por ello se pueden tratar como estructuras bidimensionales.

Generalmente, los elementos de una armadura son delgados y solo pueden soportar cargas laterales pequeñas, por ello las cargas se deben aplicar en los nodos y no sobre los elementos.

Los pesos de los elementos de la armadura los cargan los nodos, aplicándose la mitad de peso de cada elemento a cada uno de los nodos a los que se conecta. A pesar de que en realidad los elementos están unidos entre sí por medio de conexiones remachadas o soldadas, es común poner que los elementos están conectados por medio de pernos, por lo tanto, las fuerzas que actúan en los extremos del elemento se reducen a una sola fuerza y no existe un par. De esta forma se supone que las únicas fuerzas que actúan sobre un elemento de la armadura son una sola fuerza en cada uno de los extremos del elemento. Entonces, cada elemento puede tratarse como sometido a la acción de dos fuerzas, mientras que la armadura, como un todo, puede considerarse como un grupo de pernos y elementos sujetos a dos fuerzas.

Las fuerzas tienden a estirar elementos para que se encuentren en tensión o a comprimir el elemento y él mismo está en compresión. Las armaduras de madera son económicas para claros de cierta importancia, además de ser relativamente sencillas de fabricar y montar, suelen

ser convenientes para naves industriales, talleres y otros edificios con ciertas características, se pueden llegar a construir con una gran variedad de diseños dependiendo de los requisitos estéticos y funcionales.

Las armaduras de madera tuvieron un gran auge en el siglo XIX debido a la construcción de puentes y hoy en día países como Canadá, Estados Unidos y Rusia todavía recurren a este tipo de elementos.

- Una armadura está compuesta por las cuerdas superiores e inferiores y por los miembros del alma.
- La cuerda superior consta de la línea de miembros más alta que se extiende de un apoyo a otro pasando por el caballete o cumbrera.
- La cuerda inferior está compuesta por la línea de miembros más baja que va de un apoyo a otro.
- Los miembros del alma son los que unen las juntas de las cuerdas superiores e inferiores.
- Los tirantes son los miembros sometidos a tensión.
- Los puntales en base al tipo de esfuerzo son los miembros sometidos a compresión.
- Los nodos son los puntos en donde se unen los miembros del alma con la cuerda superior e inferior.

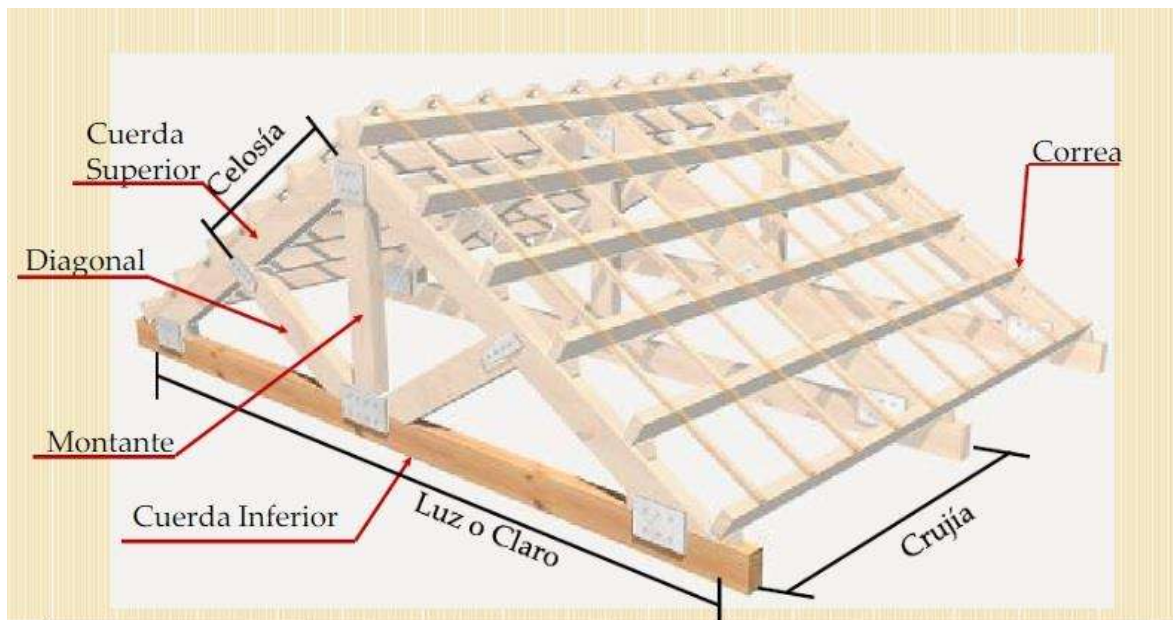


Imagen 39. Partes de una armadura. Fuente: <https://es.scribd.com/doc/62593831/Diseno-de-armaduras-de-madera>

9.1 Armaduras simples

La mayoría de las estructuras reales están hechas a partir de varias armaduras unidas entre sí para formar una armadura espacial. Las armaduras simples, son aquellas armaduras que se obtienen a partir de una armadura triangular rígida, agregándole dos nuevos elementos y conectándolos en un nuevo nodo. Si a una armadura triangular rígida le agregamos dos nuevos elementos y los conectamos en un nuevo nodo, también se obtiene una estructura rígida.

Las armaduras que se obtienen repitiendo este procedimiento reciben el nombre de armaduras simples. Se puede comprobar que en una armadura simple el número total de elementos es: $m = 2n - 3$, donde n es el número total de nodos.

9.2 Armaduras espaciales

Cuando varios elementos rectos se unen en sus extremos para formar una configuración tridimensional, la estructura obtenida se denomina armadura espacial. Una armadura rígida de dos dimensiones más elemental se compone de tres elementos unidos en sus extremos para formar los lados de un tetraedro; mediante la adición de dos elementos a la vez para esta

configuración básica, y conectándolos a una nueva articulación, es posible obtener una estructura rígida más grande que se definió como una armadura simple.

Aunque los miembros de una armadura espaciales están realmente unidos por medio de conexiones atornilladas o soldadas, se supone que cada nodo se compone de una conexión tipo rótula. Por lo tanto, ninguna pareja se aplicará a los miembros de la armadura, y cada miembro puede ser tratado como un miembro de dos fuerzas. En el caso de una armadura simple en el espacio que contienen n nodos, escribir las condiciones de equilibrio, cada nodo proporcionará tres ecuaciones. Sin embargo, para evitar la necesidad de resolver ecuaciones simultáneas, se debe tener cuidado en seleccionar nodos en un orden que ninguno involucre más de dos fuerzas conocidas.

La función de la armadura consiste en transferir las cargas que deba soportar de la manera más eficiente posible a los apoyos. La configuración de la armadura depende de la eficiencia estructural, los requisitos funcionales y constructivos, se deben considerar aspectos como material del techo, sistema de desagüe, materiales y mano de obra disponible. A continuación, se describen algunas de las armaduras más comunes.

9.3 Tipos de armaduras

Se clasifican de acuerdo a los diferentes sistemas de triangulación y frecuentemente toman el nombre del primer ingeniero que ha empleado ese tipo particular de Armadura. Las armaduras pueden tener claro simple o continúa y los miembros de los extremos pueden ser verticales o inclinados.

Armadura tipo "A"

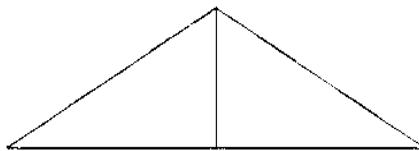


Imagen 40. Armadura tipo "A"

Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-armaduras-para-techo>

Armadura de Montante Maestro

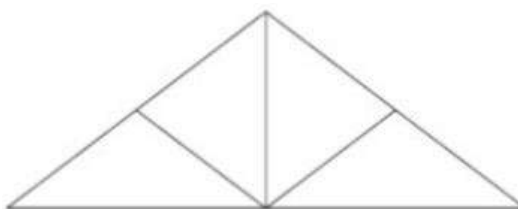


Imagen 41. Armadura de Montante Maestro.

Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-armaduras-para-techo>

Armadura tipo Pratt

Se adapta mejor a construcción de acero que de madera. Se caracteriza por tener las diagonales perpendiculares a la cuerda superior y la cuerda inferior en tensión. Es una de las más empleadas para techos.

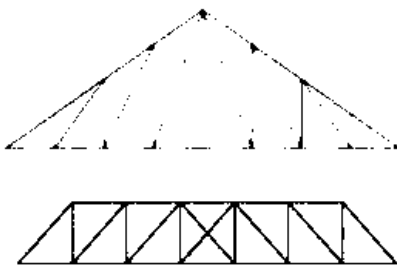


Imagen 42. Armadura tipo Pratt.

Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-armaduras-para-techo>

Armadura tipo Howe

Es la inversa de la Pratt. Sus ventajas están que sirve para cargas livianas las cuales pueden revertirse como la carga de viento, funciona de manera similar que la primera. Resulta también que la cuerda de tensión presenta una mayor fuerza que la fuerza que se produce en la cuerda en compresión en la mitad del claro, para cargas verticales convencionales. Mayormente usadas en construcción de madera.

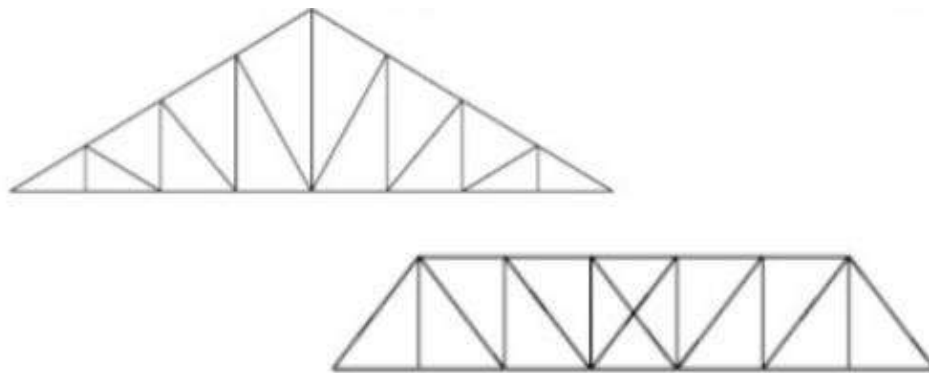


Imagen 43. Armadura tipo Howe.

Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-armaduras-para-techo>

Armadura tipo Warren

Tiene la ventaja de que los elementos de compresión y tensión en el alma de la armadura tienen igual longitud, resulta en una razón peso-claro muy ventajosa en términos de costo para aluces pequeñas.

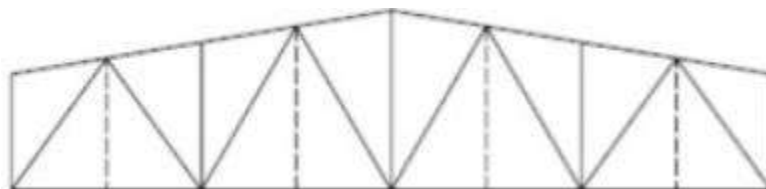


Imagen 44. Armadura tipo Warren.

Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-armaduras-para-techo>

Armadura de cuerda y arco

Se emplea para garajes, casas de campo, gimnasios y hangares pequeños.

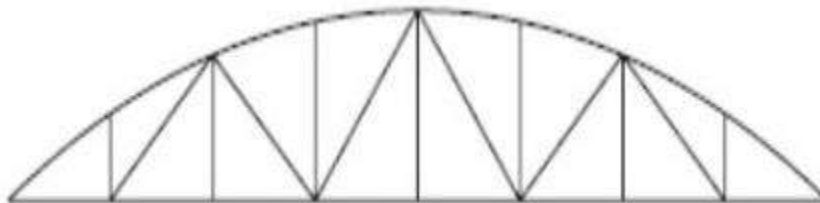


Imagen 45. Armadura de cuerda y arco.

Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-armaduras-para-techo>

Armadura tipo Fink

Para techos con pendientes fuertes, es más económico porque la mayoría de los miembros están en tensión, mientras que los sujetos a compresión son bastantes cortos. Se pueden dividir en un gran número de triángulos y coincidir con cualquier espaciado de largueros.

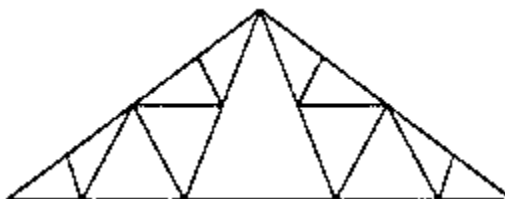


Imagen 46. Armadura tipo Fink.

Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-armaduras-para-techo>

Armadura tipo Mansard

Es una variación de la armadura Fink, con la ventaja de reducir el espacio no usado a niveles de techos. Pero que las fuerzas en la cuerda superior e inferior se incrementan debido a la poca altura de la cercha entre la altura y claro de la armadura.

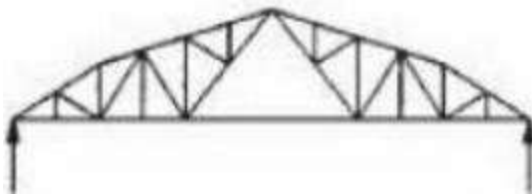


Imagen 47. Armadura tipo Mansard.

Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-armaduras-para-techo>

Armadura tipo Tijera

Cercha a dos aguas cuyas barras de tracción van desde la base de cada cordón hasta el punto medio del otro cordón superior.

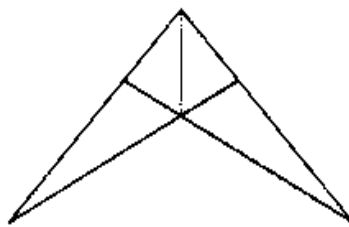


Imagen 48. Armadura tipo tijera.

Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-armaduras-para-techo>

Armadura tipo Dientes de Sierra

Se usa principalmente para los talleres, su propósito es ayudar en la distribución de luz natural sobre las áreas de piso cubiertas. Se pueden llegar a tener claros de hasta 15 metros; este tipo de armaduras es de forma asimétrica, así como sus cargas.

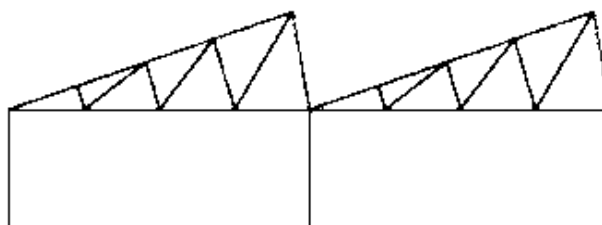


Imagen 49. Armadura tipo diente de sierra.

Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-armaduras-para-techo>

Armadura tipo Polonceau

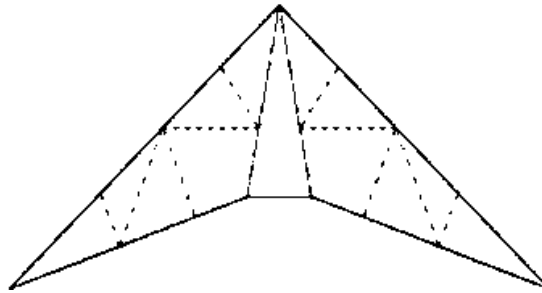


Imagen 50. Armadura tipo Polonceau.

Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-armaduras-para-techo>

Como vimos existen diferentes tipos de armaduras que tienen sus propias ventajas y desventajas, pero que al final nos sirven para cubrir claros de equis tamaño, así como alturas. Además, podemos demostrar que mediante un estudio de cargas la que mejor se puede trabajar y construir sea la armadura de Pratt. (Briceño, 2015)

Los miembros de las armaduras de madera pueden fabricarse de madera maciza o madera laminada, en ocasiones se llega a utilizar barras de acero para los miembros sujetos a tensión en los no existe peligro de que alguna combinación de acciones externas llegue a ocasionar compresión.

Los miembros pueden estar formados por una sola pieza o por combinación de varias piezas, las juntas de las armaduras con miembros de una sola pieza pueden hacerse con placas de triplay, láminas o placas de acero. Los miembros de dos piezas tienen como ventaja poder resistir fuerzas grandes con piezas de dimensiones no muy grandes. Si las cuerdas son de dos piezas los miembros del alma pueden introducirse entre las cuerdas, la unión puede hacerse con pernos o conectores sin necesidad de placas, en caso de llegar a utilizar placas metálicas entre

las piezas de una cuerda doble se logran uniones muy limpias. La elección del elemento de unión más apropiado para formar las juntas de una armadura depende en gran parte de las características de los miembros a unir.

Los clavos pueden utilizarse en armaduras ligeras cuyo espesor de miembros no sea mayor de cinco cm si alguno de los miembros está integrado por dos o más piezas, se pueden utilizar los clavos solos sin necesidad de alguna placa de unión. Si los miembros de la armadura están un plano los clavos pueden utilizarse en combinación con placas de triplay.

En armaduras de claros pequeños con sus miembros en un plano es posible formar juntas con placas de triplay pegadas únicamente con adhesivo para madera, proporcionando una gran rigidez, en estos casos se utilizan los clavos como elemento de presión para el pegado, en estos casos no es conveniente sumar la contribución de resistencia del pegamento y los clavos ya que estos actúan solo cuando el pegamento llegue a la falla.

El elemento de unión más utilizado en armaduras ligeras es la placa metálica con salientes mientras que para armaduras con miembros de dimensiones importantes contenidos en un plano único es eficiente el uso de placas de acero combinadas con pernos. Si los miembros están formados por varias piezas situadas en planos diferentes las uniones pueden hacerse con pernos solos o con pernos y conectores. La determinación del número y características de los pernos y conectores requeridos exige un análisis cuidadoso de la magnitud de las fuerzas que deben transmitir, así como la dirección en que estas actúan respecto a las fibras de los miembros que unen.

9.4 Diseño de una armadura

Las recomendaciones que se deben seguir a la hora de diseñar una armadura, así como los principales aspectos que deben tocarse son los siguientes:

1. Determinación de la separación entre las armaduras
2. Elección del tipo de armadura y número de paneles
3. Determinación de cargas
4. Cálculo de fuerzas y momentos
5. Dimensionamiento de miembros
6. Dimensionamiento de las juntas
7. Revisión de deflexiones

A medida que va aumentando la información disponible este proceso puede ser aproximado en los distintos aspectos de la armadura y la solución final será la que mejor se ajuste a las exigencias funcionales y estéticas del caso dentro de las limitantes económicas.

9.4.1 Separación entre armaduras

La separación entre armaduras está determinada por funciones arquitectónicas y con ello se procesa a elegir la armadura más indicada para el claro dado. La separación de armaduras depende de la capacidad de las viguetas que van de 3.5 m y 6 m alcanzando incluso los 9 m. La separación de las armaduras ligeras suele ser de 60 cm esto para evitar el desperdicio del material, también se llega a emplear separaciones de 40 cm, 80 cm, o 120 cm ya que son dimensiones que permiten el aprovechamiento del material.

9.4.2 Elección del tipo de armadura y número de paneles

El tipo de armadura depende específicamente de la forma del techo y del claro. Una vez escogido el tipo de armadura y fijada la relación entre peralte y el claro debe determinarse el

tamaño de los paneles, teniendo esta distancia debe tomarse en cuenta la localización de cargas que actúan sobre la armadura, así como la separación entre viguetas.

9.4.3 Determinación de cargas

En un sistema de piso o techo la carga muerta está integrada por el material de techado o de piso, la cubierta, cielo raso, viguetas, elementos rigidizantes y el peso propio de la armadura, mientras que los pesos de los materiales se pueden encontrar en cualquier manual. El peso de las viguetas puede determinarse calculando la sección requerida.

9.4.4 Cálculo de fuerzas y momentos

La forma más sencilla de analizar los efectos de las acciones externas sobre una armadura consiste en idealizarla como una estructura triangulada formada por barras articuladas en sus extremos, aceptando esta hipótesis y si las cargas se aplican en los nodos, la armadura puede analizarse como estructura isostática.

Se calculan por separado los efectos de la carga muerta, carga viva y la carga del viento, esto facilita la determinación de los valores de las fuerzas internas que resultan de las distintas combinaciones de acciones externas cuyo efecto debe revisarse de acuerdo al reglamento que se utilice.

9.4.5 Dimensionamiento de los miembros

Un aspecto importante en el dimensionamiento es la elección de la calidad de la madera, en algunos casos llega a ser preferible utilizar madera de baja calidad que madera de alta calidad esto debido a los esfuerzos permisibles ya que las maderas de calidades inferiores conducen a deformaciones más pequeñas que las que resultan si se emplean maderas de alta calidad que pueden hacerse trabajar a esfuerzos elevados. La clasificación de la madera no influye en la capacidad de los elementos de unión. Por otra parte, las secciones robustas que resultan de emplear maderas de baja clasificación proporcionan mayor espacio para los detalles de unión.

Un aspecto importante del dimensionamiento de los elementos que se encuentran en compresión es la relación de esbeltez que establece el esfuerzo permisible que debe utilizarse.

9.4.6 Dimensionamiento de juntas

Debe tenerse presente que el costo de las juntas representa una parte importante del costo total de una armadura por lo que el diseño requiere cuidado.

9.4.7 Deflexiones

Las características de una estructura deben ser tales que las deflexiones no sean excesivas. Los reglamentos limitan una deformación admisible, es conveniente procurar que bajo las cargas que actuarán sobre la armadura ningún punto de la cuerda inferior quede debajo de una recta trazada de apoyo a apoyo. La deflexión de una armadura es el resultado del alargamiento de los elementos sujetos a tensión del acortamiento de los elementos sujetos a compresión y de los elementos de unión sometidos a la acción de las cargas. El efecto de la carga viva y de la carga permanente suelen determinarse por separado.

Al diseñar una armadura se debe tener en cuenta una serie de factores que influyen en la deformación, como si el número de paneles es menor, la deflexión será menor ya que disminuye el número de juntas donde pueden presentarse deformaciones de los elementos de unión.

9.4.8 Contraventeo

Este aspecto resulta importante ya que es necesario que la estructura se mantenga en la posición correcta y para tener la resistencia frente a las fuerzas horizontales de un sismo o viento. Debe contarse con contraventeo o rigidización tanto en sentido transversal como longitudinal. Un ejemplo de rigidización efectiva es colocar en la cubierta triplay y duela unida en las cuerdas superiores de la armadura.

9.4.9 Pendientes

Es la inclinación de sus aguas oséase el ángulo que forma la cuerda superior con la cuerda horizontal y esta se expresa como: pendiente= altura de la armadura/ longitud del tramo horizontal. La pendiente más económica es de $\frac{1}{2}$. En zonas de vientos fuertes es conveniente usar pendientes pequeñas, ya que esto implica menores cargas horizontales.



Imagen 51. Thermohip housing.

Fuente: Pinterest

10 Tipos de conexiones para madera

En una armadura de madera, existe una intersección entre un elemento y otros llamados uniones o nodos. Las técnicas para unir piezas de madera son parte fundamental en el diseño estructural, ya que constituyen uno de los puntos cruciales con respecto a la resistencia de las estructuras de madera y es necesario conocer sus alcances y limitaciones.

El dimensionamiento de las uniones es uno de los aspectos más difíciles del diseño de estructuras de madera. Como en las estructuras de otros materiales, es importante reconocer que el comportamiento de la estructura no será el más adecuado si la unión no tiene la resistencia necesaria para que los elementos estructurales que une puedan desarrollar la capacidad requerida para ellos. En el comportamiento de los elementos de unión para las estructuras de madera influyen la especie, el peso específico, el contenido de humedad, y la duración de las cargas transmitidas a través de la unión.

10.1 Clavos y grapas

El clavo es el tipo de unión más común utilizado en la construcción con madera. Existe una gran variedad de clavos que cambian por el tipo de cabeza, punta además de diámetro, longitud, el material utilizado en su fabricación.

Para mejorar la unión entre a madera y el clavo y al mismo tiempo la resistencia a la extracción se puede recubrir el clavo con algún material o formar estrías anulares o helicoidales.

Los clavos pueden utilizarse de dos maneras que son aprovechando su resistencia a fuerzas laterales o aprovechando su resistencia a la extracción. La capacidad de los clavos para resistir fuerzas laterales está regida por su resistencia a la flexión y extracción o por fallas en la madera como rajaduras o aplastamiento de las fibras. La deformación es lo que limita esencialmente la capacidad de unión en estas juntas.

Para estructuras que están expuestas a la intemperie es recomendable utilizar clavos de materiales resistentes a la oxidación como galvanizado, bronce, cobre o aluminio. En caso de maderas frondosas se recomienda que se utilicen clavos estriados y en caso de maderas coníferas y secas es recomendable utilizar clavos delgados de acero de alta resistencia.

Las grapas se utilizan en forma semejante a los clavos, pero a diferencia de países donde su principal material de construcción es la madera, en México se utilizan poco.

Los clavos pueden utilizarse principalmente de dos maneras; aprovechando su resistencia a fuerzas laterales o aprovechando su resistencia a la extracción. El primer modo es el más eficiente, aunque si se utilizan clavos estriados es muy competente.



Imagen 52. Galería tradicional.

Fuente: <http://www.tradition-bois.fr/galerie.php>

Tipos de clavos

Los diferentes vástagos de los clavos están diseñados para tener una mejor sujeción en ciertos tipos de materiales, mientras que las cabezas muchas veces son diseñadas no sólo para tener una mejor sujeción, sino para que sean fáciles de ocultar y lograr un acabado liso.

Todos los clavos tienen cabeza, vástago y punta, cada una de estas partes es diferentes estilos. Las diferencias en estas tres secciones permiten seleccionar el tipo de clavo más apropiado para un determinado trabajo.

- **Cabezas:** los clavos con cabezas planas son los más comunes, ya que ofrecen una superficie sólida de impacto y un fuerte poder de sujeción. Las cabezas planas a cuadros evitan que la cabeza del martillo se deslice al golpearlas, mientras que las cabezas cónicas permiten penetrar en la superficie de la madera para después ocultarlas y dar mejor acabado y las cabezas recortadas son muy pequeñas por lo que son muy fáciles de ocultar y se recomiendan para interiores.
- **Vástagos:** su grosor se determina con un calibrador; mientras menor es el número más grueso es el vástago. Los vástagos lisos son los más comunes, mientras que los vástagos con púas y de rosca tienen mayor poder de sujeción y están diseñados principalmente para maderas duras, los clavos anillados hacen lo mismo, pero están diseñados para maderas suaves. Los vástagos estriados generalmente son utilizados en mampostería o en estructuras de madera ya que tienen un fuerte poder de fijación.
- **Puntas:** las puntas en diamante son las más comunes y adecuadas para el uso general. Las puntas en diamante largo son más afiladas y están diseñadas para clavar con facilidad en materiales duros. Las puntas romanas reducen las posibilidades de partir los materiales a perforar, pero son más difíciles de clavar.

Clavos para madera y albañilería

Son fabricados con alambre en bajo contenido de carbono, cuya terminación puede ser galvanizada de acuerdo con el uso. Pueden ser fijados directamente con un martillo carpintero de 24 onzas.

Donde aplicar:

- Todo tipo de construcciones
- Trabajos de albañilería gruesa y carpintería gruesa
- Terminaciones habitacionales (clavos finos)
- Mueblería
- Construcción de embarcaciones
- Fijación de tejas

Clavos vinílicos estriados

Fijación de planchas de yeso-cartón a estructuras de madera.



Clavos helicodales

Donde aplicar:

- Para armar estructuras de madera.
- Todo tipo de construcciones que necesite mayor sujeción.
- Para máquinas clavadoras automáticas.



Clavos terrano

Donde aplicar:

- Fija planchas de cartón, láminas de polietileno, papel o internit a estructuras de madera



Clavo Volcanita

Donde aplicar:

- Fijación de planchas de yeso-cartón a estructuras de madera.



Grapas

Donde aplicar:

- Fijar todo tipo de alambres, mallas y cercas a estructuras y postes de madera.
- Las grapas galvanizadas fijan todo tipo de alambres en la construcción de parronales y espalderas.
- Trabajos de albañilería y carpintería gruesa.
- Mueblería.

- Instalación de cercos.
- Terminaciones finas.
- Clavos para Mueblería y Artesanía.
- Son clavos de alambre de acero de menor tamaño, ideales para su aplicación en estructuras menores de madera, en la fijación de placas o tableros aglomerados. En general son de cabeza plana o pérdida.



Clavos Trupán

Donde aplicar:

- Especiales para armar estructuras de fibropaneles.
- Terminaciones habitacionales.
- Mueblería.



Clavos tapiceros

Donde aplicar:

- Para cubrir terminaciones interiores.

- Forrar muebles.
- Fijación de tapices, cueros y paños.
- Artesanía en general.



Clavos sin cabeza

Donde aplicar:

- Fabricación de puertas y ventanas.
- Terminaciones finas de mueblería.
- Fijación de rodones.
- Terminaciones interiores.
- Mueblería.
- Trabajos de artesanía y manualidades.
- Muebles de mimbre.
- Armado de cajas y cajones de madera.
- Fijación de planchas y paneles.
- Para máquinas clavadoras automáticas.



Clavos para fijación de techumbres

Estos tipos de clavos son de acero galvanizado o templado, indicados para la fijación de tejas o planchas de cubierta metálicas o de fibrocemento. Dependiendo del tipo específico de cubierta varían en su longitud y pueden ser estriados o alisados.

Son de acero galvanizado o templado, indicados para la fijación de tejas o planchas de cubierta metálicas o de fibrocemento. Dependiendo del tipo específico de cubierta varían en su longitud y pueden ser estriados o alisados



Clavos de cabeza ancha y con rondana

Donde aplicar:

- Fija planchas de techo zinc-alum a estructuras de madera.
- Fijación de tejas asfálticas sobre: (a) OSB 11,1 mm. (b) Terciado de 12 mm. Eventualmente, en Vinyl Siding.
- Fija tejas de acero gravillado a entablados de madera.



Clavos para teja asfáltica

Donde aplicar:

- Fijación de Tejas Asfálticas sobre: (a) OSB 11,1 mm (b) Terciado de 12 mm.
- Eventualmente en Vinyl Siding.



Clavo para teja con gravilla

Donde aplicar:

- Fija tejas de acero gravillado a entablados de madera.
- Clavos para concreto, albañilería y acero.
- Son de acero templado con punta balística rolada para una mejor fijación. Dependiendo de su uso, pueden ser estriados o alisados para albañilería y concreto y de disparo o impacto para concreto y acero. Cuando son fijados de forma manual llevan tarugos

Clavos para concreto, albañilería y acero

Son de acero templado con punta balística rolada para una mejor fijación. Dependiendo de su uso, pueden ser estriados o alisados para albañilería y concreto y de disparo o impacto para concreto y acero. Cuando son fijados de forma manual llevan tarugos.



Clavos estriados

Donde aplicar:

- Instalación de marcos, para puertas y ventanas.
- Fijación de maderas y metales a superficies de concreto, ladrillos y bloques de cemento.



Clavos de impacto

Donde aplicar:

- Fijar madera a concretos.
- Fijación de perfiles a estructuras de acero.
- Fijación de señales a estructuras de acero.
- Fijación de tuberías suspendidas.
- Fijar cajas eléctricas de empalme, soporte para repisas, abrazaderas para tuberías, listones de enrasar, etc.



Clavo para pistola neumática

Clavo liso rolado protección de hule transparente para rebabas o en tira con adhesivo para pistola neumática.



Donde aplicar:

- Fijar madera
- Para armar estructuras de madera.
- Fabricación de puertas y ventanas.
- Mueblería.
- Armado de cajas y cajones de madera. (Sodimac, 2020)

Los clavos pueden usarse de dos maneras; aprovechando su resistencia a fuerzas laterales o aprovechando su resistencia a la extracción siendo más eficiente la resistencia a las fuerzas laterales.

La capacidad de los clavos para resistir fuerzas laterales está regida por su resistencia a la flexión y la extracción o por fallas en la madera por rajaduras o aplastamiento de las fibras. La deformación es lo que limita la capacidad aprovechable de este tipo de juntas.

Las fórmulas para capacidad de clavos bajo cargas laterales han sido establecidas de manera que la deformación bajo cargas no exceda aproximadamente 0.4 mm. La capacidad de carga permisible en kilogramos de una unión de dos miembros de la madera hecha con un clavo hincado perpendicular a las fibras, está dada por la fórmula $P1=10\gamma D^{1.5}$ donde γ es el peso específico de la madera y D es el diámetro del clavo en milímetros), para que la capacidad dada por la expresión anterior sea válida, la penetración de la punta del clavo en la pieza que la recibe, debe ser cuando menos de 14 veces el diámetro del clavo y el miembro en contacto con la cabeza deberá tener cuando menos un espesor de 10 veces el diámetro del clavo.

Si la penetración de la punta o el espesor del miembro en contacto con la cabeza es menor que lo especificado, la capacidad de carga debe reducirse proporcionalmente. Para clavos hincados en los extremos de miembros, paralelamente a las fibras, la carga lateral permisible puede reducirse al 60% de la correspondiente a clavos perpendiculares a las fibras.

Cuando se unen tres o más piezas (uniones con dos o más planos de cortante) la capacidad de los clavos se determina multiplicando la capacidad de una unión sencilla por $0.9n$, en que n es en número de planos de cortante, cada

uno de los miembros debe tener un espesor no menor que las dos terceras partes del correspondiente al miembro que recibe la punta en una unión sencilla. Si la punta de los clavos sobresale por lo menos tres veces el diámetro y se dobla la capacidad puede tomarse igual a la de uniones sencillas multiplicadas por n . Para el espaciamiento entre clavos se recomiendan los siguientes valores mínimos, en donde D es el diámetro del clavo.

- 10D entre hileras de clavos
- 5D de los bordes
- 20D de los extremos
- 20D entre clavos a lo largo de las fibras

La separación mínima entre hileras de clavos paralelas a las fibras puede disminuirse a 8D si los clavos se colocan a tresbolillo. (NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS, 2017)

La resistencia a la extracción de los clavos depende de la dirección de la penetración del clavo con relación a la dirección de las fibras, el tipo de punta, la profundidad de penetración, el diámetro, el acabado superficial y la especie, densidad y contenido de humedad de la madera.

La fórmula $P_2=10\gamma D^{1.5}$ es aplicable para clavos estándar de superficie lisa empleados en uniones hechas con madera ya seca o verde, se prohíbe el empleo de clavos sometidos a la extracción hincados paralelamente a las fibras, cuya resistencia en estas condiciones se considera nula. Los espaciamientos mínimos aplicables son los mismos que los hincados para clavos sometidos a fuerzas laterales. (NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS, 2017)

10.2 tornillos y pijas para madera

Los tornillos varían con una longitud que va de los 5/8 pulgadas a 3 pulgadas con diferentes diámetros, se introducen a la madera con un agujero previo, como guía, con estos se lograra una unión más rígida que con los clavos, pero son más caros y su colocación requiere más mano de obra. Las pijas tienen rosca como los tornillos, pero su longitud puede ser hasta de 12 pulgadas pero al igual que los tornillos requieren un agujero previo como guía.

En uniones con un solo plano de cortante en las que el tornillo es insertado perpendicularmente a las fibras, la capacidad de carga está dada por la siguiente fórmula $P_3 = 3.75yD^2$. Esta capacidad es aplicable cuando la penetración del tornillo en el miembro que recibe la punta sea por lo menos siete veces el diámetro de la caña lisa y los espaciamientos mínimos de los tornillos sean los siguientes:

- 3 D entre hileras de tornillos
- 5 D de los bordes
- 10 D entre tornillos adyacentes en la dirección de las fibras
- 10 D de los extremos

Estas separaciones son menores que las recomendadas para clavos ya que al introducirse los tornillos los agujeros taladrados reducen en la tendencia de la madera a fisurarse.

La capacidad de extracción está dada por la siguiente fórmula $P_4 = 15y^2D$ es válida cuando los espaciamientos mínimos de los tornillos sean los correspondientes al caso de carga lateral cuando la fuerza es paralela a las fibras, y cuando la capacidad del tornillo a la tensión no sea sobrepasada. La capacidad permisible de un tornillo insertado paralelamente a las fibras se considera igual al 75% de la correspondiente al insertado perpendicularmente a ellas. En este caso,

la distancia entre tornillos no debe ser de 10 D. (NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS, 2017)

Existen un sinnúmero de tipos de tornillos para madera: de cabeza plana, de cabeza puntiaguda, redondeada, fresada, tipo Allen... ¿Cómo saber cuál es la que mejor se adapta al tipo de trabajo que debes realizar? A continuación se mencionan todas las claves para la elección de los tornillos para madera perfectos, según el objetivo.

¿Qué tornillos elegir para madera?

Los tornillos para madera son también conocidos como tirafondos. Estos tornillos se identifican rápidamente porque la punta es más estrecha que el cuerpo, ya que es ella la que abre camino a medida que se introduce en la madera. Se pueden encontrar 4 tipos principales de categorización de tornillos de madera:

- El material con el que están fabricados
- El tipo de cabeza
- La longitud
- El diámetro de la caña

A continuación se explica cada uno de los puntos anteriores.

Material de fabricación

La primera clasificación que podemos encontrar en cuanto a tornillos para madera es el material de su fabricación. Pueden ser de:

- Cobre
- Bronce
- Acero inoxidable

- Aluminio
- Latón

Y a su vez, pueden tener un acabado concreto:

- Galvanizado
- Bicromatado
- Niquelado
- Cromado

Los más resistentes son los tornillos metálicos. Los tornillos de latón son muy utilizados en trabajos de madera. Si se necesita una alta resistencia para exteriores o para zonas húmedas, se debe elegir los de acero inoxidable. Los cromados, comparados con los bicromatados, son menos contaminantes.

Tipo de cabeza

La siguiente clasificación que se encontró en cuanto a broca madera es el tipo de cabeza del tornillo para madera. Pueden ser cabezas planas, puntiagudas o redondeadas:

Cabeza plana

Es muy utilizada en carpintería, ya que este tipo de cabeza queda a ras de la superficie en cuestión o incluso totalmente sumergida en la madera.

Cabeza puntiaguda

Este tipo de cabezas es útil para fijar, por ejemplo, elementos metálicos a la madera. Tienen una característica a tener en cuenta: son más fáciles de sacar que los de cabeza plana.

Cabeza redondeada

Si se necesita que dos partes estén unidas mediante, por ejemplo, arandelas, se necesita un tornillo de cabeza redondeada. A su vez, las cabezas pueden tener distintos acabados, según el destornillador o herramienta que se deba usar para colocar o desatornillar: tipo Allen, Phillips, Torx, fresada...

Longitud del tornillo

Desde los 10 milímetros hasta los 280 milímetros... La longitud del tornillo dependerá de cuánto miden las piezas que se desea unir.

Diámetro de la caña

De 2 milímetros a 8 milímetros. La caña, también llamada cuello, es la parte lisa del tornillo, la que se encuentra entre la cabeza y el cuerpo.

Consejos broca madera

- Las más comunes son las brocas helicoidales
- Si se necesita llegar a donde no llega la helicoidal, se recomienda la broca larga para madera
- Si se requiere hacer barrenos, se debe usar una broca para berbiquí
- Si se debe dejar el tornillo embutido en la madera y a ras de la superficie, se debe utilizar la broca de avellanar
- Si se tienen que hacer agujeros de gran diámetro, se recomiendan las brocas corona (Bextok, 2017)



Imagen 53. Tipos de tornillos.

Fuente: <https://blog.bextok.com/tornillos-para-madera-tipos/>

Tornillos spax para madera

Parece un tornillo cualquiera pero no lo es. Los **tornillos Spax** para madera, tienen un diseño especial que facilita el atornillado y previene, en muchos casos, que la madera se raje. Si se analiza la punta detenidamente, se puede observar que ésta no tiene forma cilíndrica, como el resto del cuerpo del tornillo, sino sección cuadrada, como la punta de un clavo. El diseño con forma de clavo facilita la entrada del tornillo en la madera. Además, permite clavarlos superficialmente, con un ligero golpe de martillo, para después atornillarlos todos en serie. Se puede observar, también, que los primeros filetes de la rosca están dentados.

Este dentado con forma de sierra es otro de los secretos por el cual los tornillos Spax para madera funcionan tan bien. Al introducirse en la madera, estas roscas dentadas cortan parte de las fibras de madera, lo que evita, en muchas ocasiones, que la pieza se raje. El diseño de filetes dentados no solo reduce el

riesgo de que las tablas se rajen: también ahorran al taladrar un agujero guía previo. Esto resulta posible en muchos diámetros de tornillo.

Los tornillos para madera Spax se fabrican con dos tipos de rosca:

- Rosca completa: la rosca llega hasta la base de la cabeza cónica del tornillo. Este tirafondo es ideal para el atornillado de herrajes a través de agujero pasante. Por ejemplo, bisagras, escuadras metálicas, cerrojos, soportes metálicos para viguería, etc. Ofrecen una buena presión de apriete gracias a su rosca completa.
- Rosca parcial: la rosca no llega hasta la cabeza, sino que se interrumpe antes. Se trata de un tirafondo especial para el atornillado de tableros de aglomerado. En este caso, la parte no roscada debe tener una longitud equivalente al grosor de la plancha de aglomerado. Este tornillo ofrece una unión segura y una alta capacidad de retención en estos tipos de tableros. (SPAX, 2020)

Propiedades especiales



T-STAR plus

Asiento limpio del BIT y mejor guiado, p.ej. al trabajar cabeza abajo.



Cabeza múltiple

Penetración a ras de superficie. Fresa en la madera y frena en el metal.



Perfil ondulado

Atornillado rápido y seguro hasta la punta.



Punta 4CUT

Permite el atornillado sin perforación previa (dependiendo de la madera), reduce las roturas, el cuadrado separa la fibra.



Tornillo universal para madera

Imagen 54. Propiedades tornillos spax.

Fuente: <https://www.tecnitool.es/tornillos-spax-para-madera/>

Pija multiusos Philips negra bugle head for wood drywall screw

Pija para madera que van del número 4(2.2 mm) al 14(6.3 mm), de 5/8 de pulgada hasta 4 pulgadas, elaborado de acero resistente, útil para fijar, unir o sujetar piezas de madera entre sí. Su diseño brinda fuerza de torsión a su cuerpo roscado y firmeza en uniones de piezas de madera.



Imagen 55. Pija negra.

Fuente:<https://herrasa.com.mx/product/pija-para-madera-cabeza-phillips-negra-2/>

10.3 Pija hexagonal Hillman

Pija de ¼ de pulgada a 1 pulgada de diámetro y 1 pulgada a 6 pulgadas de longitud elaborado de acero resistente, útil para fijar, unir o sujetar piezas de madera entre sí. Su diseño brinda fuerza de torsión a su cuerpo roscado y firmeza en trabajos de construcción.



Imagen 56. Pija hexagonal Hillman.

Fuente:<https://www.esteba.com/es/tornillos-para-madera-cabeza-hexagonal/101100000-tornillo-spax-cabeza-hexagonal-din571-10un.html>

10.4 Pernos

El perno es uno de los elementos de unión de uso más común porque permite realizar conexiones de considerable resistencia con relativa sencillez. Los pernos pueden tener cabeza en un extremo y rosca y tuerca en el otro o rosca y perno en ambos extremos. Su longitud y diámetro son muy variables. El diámetro varía de $\frac{1}{4}$ de pulgada a 3 pulgadas. Generalmente se emplean en combinación de rondanas, que reducen los esfuerzos de aplastamiento. Es recomendable considerar la unión de dos piezas de madera unidas a una tercera pieza central más gruesa así la unión será más resistente ya que cuenta con dos planos de resistencia al cortante.

Cuanto más densa y resistente sea la madera y mayor el diámetro del perno, mayor será la resistencia de la unión. La resistencia de perno no afecta el límite de proporcionalidad de la conexión a no ser que el perno sea muy débil que se empiece a doblar antes de que inicie el aplastamiento de las fibras de madera; cuanto más tiempo permanezca recto el perno, más uniforme será la distribución de esfuerzos de aplastamiento en la madera. Una conexión con los miembros delgados fallará a una carga baja. Si el perno está demasiado cerca del extremo la falla se produce por rajaduras longitudinales en la madera. Si los miembros y el perno se unen con los ejes longitudinales perpendiculares entre sí las fuerzas actúan en sentido perpendicular a las fibras, la resistencia que puede desarrollarse es mucho menor que en el caso anterior.

Es posible unir solo dos miembros por medio de un perno pero el comportamiento de este tipo de conexión será menos favorable que los descritos anteriormente ya que solo cuenta con un plano de resistencia al cortante, las fuerzas actúan excéntricamente y el perno queda sujeto a una flexión muy fuerte y el aplastamiento de la madera inicia a una carga muy baja.

La resistencia de uniones en que las fuerzas actúan en dirección perpendicular a las fibras es considerablemente menor que la del caso en que todas las fuerzas son paralelas a las fibras.



Imagen 57. Pernos cabeza hexagonal.

Fuente: <https://www.amazon.es/Tornillos-tornillos-resistencia-hexagonales-BATULY/dp/B07W3VC6QV>

Ejemplos de elementos de madera con pernos



Imagen 58. Armadura tipo "A" con pernos

Fuente: <https://www.farmhouses.hifzum.com>



Imagen 59. Estructura de celosía.

Fuente: <http://www.e-dach.pl/a/konstrukcja-wiezby-rodzaje-i>



Imagen 60. Truss galery.

Fuente: <https://www.specialtybeams.com>



Imagen 61. Useless Bay by Hoedemaker Pfeiffer.

Fuente: <https://www.dwell.com/home/useless-bay-95c5>

Uniones en que los ejes longitudinales de las piezas por unir son colineales. Unión de tres piezas en las que las piezas exteriores tienen por lo menos la mitad del espesor de la pieza central. Su capacidad en kilogramos se obtiene de.

$$P5=1.12\gamma k1*D*t$$

Donde γ es el peso específico, D es el diámetro del perno en mm y t es el espesor del miembro central en milímetros. El valor de k , depende de la relación t/D y se da en la siguiente tabla.

t/D	K1	t/D	K1
1	1.00	8	0.57
2	1.00	9	0.51
3	1.00	10	0.46
4	0.97	11	0.41
5	0.88	12	0.38
6	0.76	13	0.35
7	0.65		

Tabla 2. Valor de "k".

Uniones en que los ejes longitudinales de las piezas por unir son perpendiculares. Unión de tres piezas en la que las piezas exteriores tengan por lo menos la mitad del espesor de la pieza central. La capacidad en kilogramos se obtiene de.

$$P=0.35 \gamma k_2 k_3 D^2 t$$

Donde γ es el peso específico, D es el diámetro del perno en mm y t es el espesor del miembro central en milímetros. Los valores de k_2 y k_3 se dan en la siguiente tabla en función de t/D y D, respectivamente.

t/D	K2	D mm(pulg)	K3
1	1.00	6.4(1/4)	2.50
2	1.00	9.5(3/8)	1.95
3	1.00	12.7(1/2)	1.68
4	1.00	15.9(5/8)	1.52
5	1.00	19.1(3/4)	1.41
6	1.00	22.2(7/8)	1.33
7	1.00	25.4(1)	1.27
8	0.96	31.8(1- 1/4)	1.19
9	0.86	38.1(1- 1/2)	1.14
10	0.76	44.5(1- 3/4)	1.10
11	0.68	50.8(2)	1.07
12	0.61	59.2(2- 1/3)	1.03
13	0.55	76.2(3)	1.00

Tabla 3. Valores de “k2” y “k3”.

Uniones en los que los ejes longitudinales de las piezas por unir forman un ángulo θ entre sí y la capacidad de carga de estas uniones se calcula usando la fórmula de Hankinson, utilizando las capacidades de carga para $\theta=0^\circ$ y $\theta=90^\circ$

$$P_{\theta} = P_o / \{1 + (P_o/P_{90}-1) \text{sen}^2\theta\}$$

Dónde: P_{θ} es la capacidad para para el ángulo θ , P_o capacidad para piezas con ejes colineales, P_{90} es la capacidad para piezas con ejes perpendiculares. Para que sean aplicables las recomendaciones anteriores en

uniones a base de pernos deben respetarse los siguientes espaciamientos mínimos.

a) Cuando la fuerza actúa en la dirección de las fibras:

4 D entre pernos adyacentes en la dirección de las fibras

1.5 D entre hileras de pernos

7 D del extremo cargado

4 D del extremo no cargado

1.5 D de los bordes

b) Cuando la fuerza actúa perpendicularmente a la dirección de las fibras:

4 D entre pernos adyacentes en la dirección de las fibras

4 D de los extremos

4D de borde cargado

1.5 D del borde no cargado

5 D entre hileras de pernos para $t/D > 6$

2.5 D entre hileras de pernos para $t/D = 2$ (interpolación entre los dos últimos valores para $2 < t/D \leq 6$.) (Ambrose, 2000)

Se coloca una rondana entre la cabeza o la tuerca del elemento de unión y la madera. Las rondanas podrán omitirse cuando la cabeza o la tuerca del elemento se apoyen directamente sobre una placa de acero. El área de las rondanas de pernos que estén sujetos a tensión deberá ser tal que el esfuerzo de aplastamiento no sea superior a la resistencia de diseño en compresión perpendicular a la fibra de la madera calculada según la sección 3.5. Si se utilizan rondanas de acero, su grosor no deberá ser inferior a 1/10 del diámetro de

rondanas circulares, ni inferior a 1/10 de la dimensión mayor de dispositivos de forma rectangular. (NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS, 2017)



Imagen 62. Rondana plana.

Fuente: https://www.amazon.com/-/es/Arandela-plana-Dropper-acero-inoxidable/dp/B07KQ198NP/ref=lp_16410891_1_3?s=industrial&ie=UTF8&qid=1602114932&sr=1

10.5 Placas

En ocasiones se forman uniones combinando clavos, tornillos o pernos con placas de acero. Para armaduras ligeras existen placas con salientes integrados que actúan como clavos llamados “gang-nail” estas placas se colocan con prensas hidráulicas o herramientas especializadas. Para uniones en que las fuerzas que deben transmitirse no son muy grandes se pueden emplear placas de triplay fijadas con clavos o algún pegamento, siendo ambos la mejor combinación.

Uniones con Placas en Madera

Las uniones o juntas de los distintos componentes en una estructura son parte fundamental de la firmeza y seguridad de una estructura, en este caso al hablar de madera existen diferentes formas de asegurar estas uniones mediante refuerzos, siendo la forma más comúnmente utilizada el uso de placas que mediante pernos aseguran la conexión entre dos piezas diferentes de una estructura, con el objetivo de lograr que cada pieza, trabaje como una sola y en conjunto permitan la seguridad, firmeza y estabilidad estructural necesaria para una construcción en madera.

Uniones con Placas en Madera.

Las uniones o juntas de los distintos componentes en una estructura son parte fundamental de la firmeza y seguridad de una estructura, en este caso al hablar de madera existen diferentes formas de asegurar estas uniones mediante refuerzos, siendo la forma más comúnmente utilizada el uso de placas que mediante pernos aseguran la conexión entre dos piezas diferentes de una estructura, con el objetivo de lograr que cada pieza, trabaje como una sola y en conjunto permitan la seguridad, firmeza y estabilidad estructural necesaria para una construcción en madera.

Una innovación importante en esta evolución de los sistemas de conexión para la madera lo constituyen los conectores metálicos.

En esa familia de conectores se encuentra una diversidad de estribos para la fijación de envigados en el mismo plano y distintos tipos de conectores para cerchas. Algunos vienen a resolver una ecuación siempre compleja en la construcción en madera, cual es la conexión en un mismo plano de elementos estructurales dispuestos en sentidos encontrados. Si en la tradición constructiva de la madera las diferentes escalas de envigados solían sobreponerse y traslaparse, los conectores metálicos permiten precisamente la conexión efectiva de una viga secundaria por cabeza con la viga maestra, sin necesariamente apoyarse sobre ella.

Esto redundará en una disminución sensible de las alturas de los entrepisos. Por otra parte, la filosofía del diseño de estos conectores promueve la utilización prioritaria de los clavos como elemento de conexión, por su economía y rapidez.

Éstos, sin embargo, no tienen ninguna capacidad de fijación y anclaje si se disponen en el sentido de las fibras de la madera. Deben ir, necesariamente, en el sentido transversal a las fibras. Por ello, el diseño de los conectores resuelve

estos nudos con mucha ingeniería (e ingenio) en base a planchas principalmente plegadas que permiten disponer las superficies en contacto con la madera con las perforaciones transversales al sentido de las fibras. Por cierto, no todo se puede hacer a partir del plegado, por lo que, en algunos casos, se hacen también piezas soldadas.

El material base de estos conectores es plancha de acero galvanizado de espesores variables entre 0,9mm y hasta 6mm, dependiendo del diseño, de las cargas y de las secciones de las piezas de madera a las que sirve. Existen una casi inimaginable variedad de conectores tipo estribos, para las secciones más frecuentes de madera, en variedad de ángulos de atraque e incluso para soportar el encuentro de más de dos elementos en el nudo. A cada tipo se asocian también cargas distintas, lo que compromete distintos espesores de acero y dimensiones de las alas y cantidad de perforaciones para recepción de clavos y/o tornillos.

El uso de acero galvanizado hace una aportación importante a la durabilidad y resistencia a la corrosión del sistema de conexiones. En materia de resistencia al fuego, hay productores que han avanzado en materia de ensayos y pueden asegurar la estabilidad de los conectores por 30 minutos.

Entre las consideraciones que se sugieren para asegurar la estabilidad de la conexión está el empleo de clavos o tornillos de mayor longitud de manera de contrarrestar la pérdida de anclaje producto de la carbonización superficial de la madera y la disminución de la profundidad de fijación. Obviamente, la opción de hacer protecciones adicionales mediante recubrimientos siempre es posible. Otra alternativa frente a estos requerimientos es el uso de la variedad de conectores ocultos que han desarrollado varios fabricantes. Los conectores ocultos quedan recubiertos por la propia madera, por lo que su resistencia al fuego aumenta en función de esta aislación.

Por otra parte, está la familia de los conectores planos, clavados o dentados. Éstos últimos se han desarrollado especialmente para la prefabricación de cerchas de madera. La conexión de los miembros de la cercha en un mismo plano mediante el uso de conectores metálicos de placa dentada ha permitido reducir las secciones de la madera y, consecuentemente, su peso. Usualmente los fabricantes de placas dentadas tienen sus propios programas de cálculo que permite dimensionar correctamente la placa a emplear en función de las cargas que soporta la cercha y, particularmente cada nudo. Como es sabido, en las cerchas fabricadas a pie de obra con uniones clavadas la cantidad de clavos necesarios depende de cálculo estructural y el distanciamiento mínimo entre los clavos determina la sección de la madera.

La unión con placas metálicas dentadas optimiza la conexión y permite reducir la sección de las piezas de madera. Es de mencionar, eso sí, que la fijación de estos conectores dentados se debe hacer mediante una prensa con presiones variables entre 8 y 50 toneladas. El uso indiscriminado y la fijación mediante martillo de este tipo de conectores deben hacerse bajo supervisión profesional y ser limitado, especialmente si las conexiones cumplen una función estructural importante. (Pfenniger, 2020)

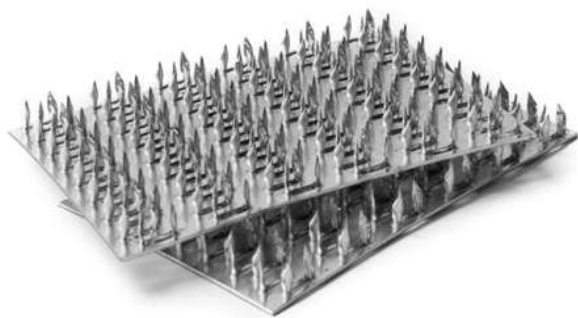


Imagen 63. Placa dentada.

Fuente: <https://www.bea-group.com/es/productos/elementos-de-fijacion/>

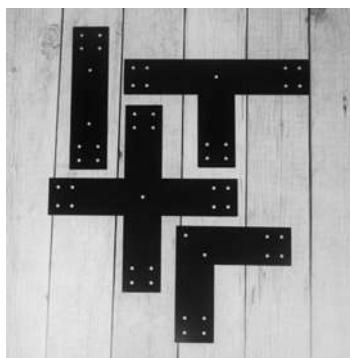


Imagen 64. Placas de acero.

Fuente: <https://madisonironandwood.com/products/post-brackets-for-6x6-dimensional-lumber>

20 <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/conexiones-metalicas-en-estructuras-de-madera>

Ejemplos de elementos de madera con placas de acero



Imagen 65. Decorative hardware.

<https://www.google.ch/blank.html>



Imagen 66. Custom Steel Truss Plates.

Fuente: <https://www.etsy.com/mx/listing/>



Imagen 67. [woodconnectors/category](https://www.strongtie.com/woodconnectors/category).

<https://www.strongtie.com/decorativehard>



Imagen 68. Steel joint.

Fuente: <https://tallerdensemble.com/option>

10.6 Pegamentos

Los pegamentos se utilizan no solamente para fabricar elementos de madera laminada o triplay, así como vigas y componentes diversos formados por combinaciones de triplay con piezas de madera maciza o madera laminada, sino también para realizar conexiones entre miembros estructurales. Existen una gran variedad de pegamentos, algunos de origen de origen naturales y otros artificiales. Los más comunes son los siguientes:

- Resinas fenólicas: Es una resina sintética termoestable obtenida como producto de la relación de fenoles con formaldehido. Es considerado el pegamento más eficiente desde el punto de vista de resistencia y durabilidad. Resiste la humedad y calor por ello es un adhesivo que puede utilizarse en estructuras que se encuentran expuestas a la intemperie.

- Caseína: es un adhesivo natural biodegradable que se obtiene de la proteína de la leche, el cual tiene una gran resistencia e incluso superior a adhesivos sintéticos pero es más sensible a la humedad y por ello su uso puede limitarse a estructuras protegidas contra la intemperie.
- Urea: Es una resina sintética también conocida como urea-metal y urea-formol, su elaboración consta de dos principales pasos: primero la metilación alcalina seguida de la condensación del ácido, su principal propiedad es que, una vez moldeada, no se ablanda con las altas temperaturas al contrario se endurece, esto debido a su estructura interna.
- Resina de polivinilo: Es una resina sintética termoplástica que se forma por la polimerización de un compuesto vinílico, también se le conoce como cola o pegamento blanco.

Al escoger un pegamento debe investigarse sus características de durabilidad, el procedimiento de aplicación y capacidad para transferir esfuerzos cortantes paralelos a las superficies unidas o esfuerzos de tensión perpendiculares a ellas. Las especificaciones del fabricante nos pueden brindar datos útiles

10.7 Uniones tradicionales

Las uniones tradicionales en estructuras de madera son aquellas uniones que no requieren elementos externos y se basan en acoplar las piezas de la estructura de madera mediante el mecanizado de estas encajándolas entre sí como un puzle. Hay muchos tipos de uniones tradicionales, pero se pueden dividir en tres grandes grupos:

Según su forma de encuentro

Empalme: Este tipo de unión se usa para dar continuidad a las vigas y alcanzar las longitudes deseadas como se observa en la imagen 1.1



Imagen 69. Empalme.

Fuente:<https://www.ourjoyfulnest.com/2013/08/09/family-history-friday-double-bladed-scarf-joint/>

Ensamble: Esta unión se usa para unir piezas con diferentes líneas, de manera que puedan incrustarse una en la otra.



Imagen 70. Ensamble.

Fuente:<https://holzunddesign.wordpress.com/2012/08/06/japanisch-holzverbindung/>

Según el medio de unión empleado

Unión carpintera: Uniones de madera que transmiten el esfuerzo a través de la superficie de contacto. Se realizan mediante cortes en la sección para formar cajas y espigas.

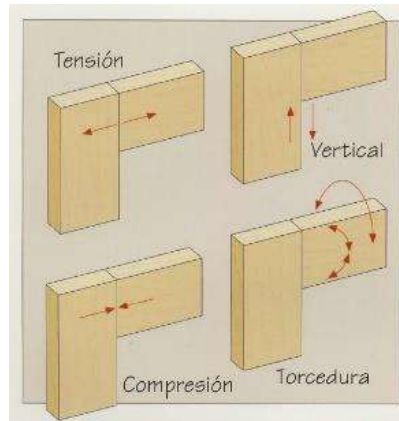


Imagen 71. Uniones de madera.

Fuente: <http://tallerdemaderasdi.blogspot.com/2009/08/ensambles.html>

Unir la madera mediante ensambles sin tornillos nos permite conseguir un acabado mucho más natural y estéticamente limpio. Además, la unión podrá ser mucho más firme y duradera ya que, si se hace bien, podemos repartir mejor la fuerza que soporta. Aun así, no es fácil. Requiere ante todo experiencia y más tiempo. Como es lógico, es más rápido y sencillo clavar un clavo o tornillo que conseguir un ensamblaje ajustado. Pero como hemos dicho, no siempre es posible o necesario este sistema.

En la construcción de muebles, unir la madera no suele ser necesario ya que se suele hacer uso de piezas desmontables. Los listones o tablones que podemos encontrar en el mercado ya cubren la mayoría de tamaños posibles para muebles. Ahora bien, los empalmes serán útiles si pretendemos construir es una estructura más grande, como una pérgola, un porche o un stand. Cabe señalar que la presión realizada en el empalme es distinta según la posición de la pieza (horizontal o vertical). Por muy reforzada que sea la unión entre dos extremos, siempre será más endeble que un tramo enterizo.

- **Ensamble de espiga:** Es la unión más sencilla entre dos piezas de madera. Se trata de una mecha cuadrada o rectangular que, tras ser mortajada, permite unir la madera con el extremo de la otra pieza. De esta manera, las piezas funcionan como macho y hembra.
- **Espiga redonda:** Similar a la anterior pero con una mecha en forma cilíndrica. Puede ser propia o postiza, pero es importante guardar una proporción entre la longitud y el diámetro de la espiga. Si fuese muy larga o estrecha, podría quebrarse y se rompería la unión.
- **A media madera:** Es uno de los más comunes, sobretodo en la unión de columnas y vigas. Consiste en rebajar a la mitad las dos piezas para después ser superpuestas, atravesadas con dos mechas de madera. Esta técnica permite una junta fuerte e indeformable.
- **Unión pico de flauta:** Prácticamente igual que el anterior pero con un corte oblicuo. Aunque su estética es más bonita, la unión debe reforzarse con tornillos de tuerca o abrazaderas ya que el corte oblicuo actúa como deslizante. Por este motivo, no es recomendable para soportar grandes cargas.
- **Ensamble de horquilla con mecha:** Es un empalme sólido si se realiza con precisión. La proporción de la espiga debe estar entre $\frac{1}{2}$ o $\frac{1}{3}$ para conseguir la máxima solidez. Se puede reforzar con una punta o mecha que evite la desconexión. Este sistema es muy utilizado en la colocación de tarima de madera y la mayoría de machihembrados.
- **Horquilla con corte falso:** Ambas piezas terminan en cortes falsos para realizar una unión más firme y resistente a la flexión.



- Ensamble de doble espiga: Las espigas van abiertas y se ven por ambos lados, Aunque parezca más reforzado que los anteriores no lo es, siendo solo recomendado para unir piezas estrechas, conectadas por el lado más largo.
 - Horquilla combinada: Es una manera de unir la madera poco común ya que es difícil de realizar y requiere adhesivos de alta calidad. La parte inclinada debe ser lo más alargada posible.
 - Ensamble de dientes triangulares: Es complejo de realizar y requiere mucha precisión. Para fuerzas de compresión no es útil ya que es muy fácil. Por el contrario, es estéticamente atractivo, muy útil para acabados laminados.
 - Ensamble media madera por cuarteles: Es otro de los más comunes, por ejemplo, en la construcción de muebles. El grosor de los dientes deberá ser de $\frac{1}{4}$ del espesor de la pieza. Recuerda que es importante un buen encaje para una unión efectiva.
 - Dientes alternos: Aunque es difícil de hacer, el resultado es una unión firme y muy resistente. Para ello es necesario que el ajuste sea perfecto.
 - Unión con dientes de cruz: Es el más recomendable para soportar grandes pesos, siempre que lo permita la sección. Las espigas y las cajas deben ser rectas y cortadas con precisión. Aunque parezca fácil, es una de las más difíciles de conseguir, pero su diseño permite unir la madera con gran solidez y estabilidad.
- (LABOIS, 2018)



Ejemplos de uniones de elementos de madera



Imagen 72. Center post scarf in Timber Framing_Log construction.

Fuente: <https://fabcab.com/envira>



Imagen 73. Hammer Beam Timber Frame Plan.

Fuente: <https://www.pinterest.com.mx/offsite>



Imagen 74. Collin Beggs Design Build Timber Framing.

Fuente: <http://www.collinbeggs.com>



Imagen 75. Kautzer Craftsmanship Home page.

<http://ww1.woodworkingtimex.com/>

11 Proceso constructivo

El presente capítulo lo he desarrollado a partir de la experiencia personal, de los proyectos y trabajos que he realizado en los últimos años. El primer ejemplo se trata de una pérgola de sombra para un espacio de asador con medidas de 3.40m X 3.55m.

Se analizó la manera en que se iba a soportar la estructura determinando el anclaje de los elementos de madera a la pared con tornillos “anclaje de cuña para concreto” de 3/8x4, ya que el sistema constructivo de la casa fue concreto encofrado.



Imagen 76. Pernos de anclaje

Fuente: Propia

La estructura fue elaborada madera estufada de pino de 1 ½ pulgadas de espesor y 8 pulgadas de peralte, al ser una madera estufada tenemos la certeza de que tiene la humedad óptima, está libre de insectos y plagas.



Imagen 77. Espiga

Fuente: Propia

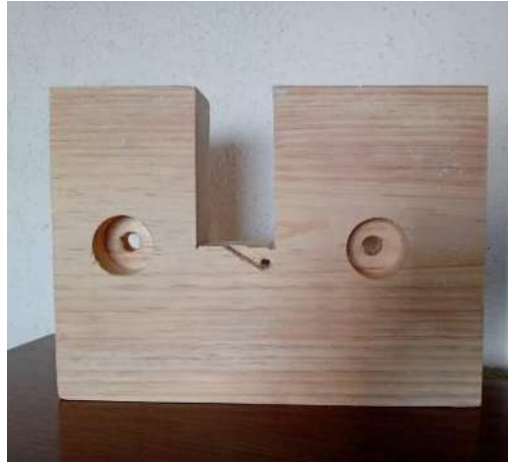


Imagen 78. Caja

Fuente: Propia



Imagen 79. Detalle ensamble pegado al muro.

Fuente: Propia



Imagen 80. Detalle ensamble frente.

Fuente: Propia



Imagen 81. Detalle ensamble planta.

Fuente: Propia

Por el tipo de estructura y dimensiones decidí que la unión entre los elementos sería por medio de ensamble a media madera. La madera se cortó a las medidas correspondientes cepilladas y canteadas de ambas caras y dos cantos. Los ensambles fueron realizados con herramientas manuales como mazo, formón, serrucho etc. Y herramientas eléctricas como caladora, sierra circular, taladro, etc.

Para la rosca de los pernos de anclaje se perforo con broca de $\frac{1}{2}$ y para el espacio de la rondana con broca de $1 \frac{3}{8}$.

Para proteger la madera se utilizó un impermeabilizante impregnante de la marca Thompson's ya que le da color a la madera y al mismo tiempo la protege.

El material consta de una mezcla triple de aceites. Los aceites de penetracion profunda protegen la madera de los daños a causa del agua, mientras que el revestimiento es resistente al mho y a los daños a causa de los rayos UV.



Imagen 82. Material imprégnate.

Fuente: Propia



Imagen 83. Area a cubrir.

Fuente: Propia



Imagen 84. Primera vigüeta.

Fuente: Propia

Ya en la obra se fijaron los dos elementos que soportarían la estructura como ve en la foto 9. Se marcó el muro y se perforó con broca para concreto con diámetro de 3/8 para insertar el perno de anclaje. Después se colocaron los elementos de madera sobre los pernos de anclaje con una pendiente del 5% y se apretaron las turcas para la fijación de los soportes de la estructura.



Imagen 85. Pérgola terminada.

Fuente: Propia



Imagen 86. Vista superior de la pérgola.

Fuente: Propia

Posteriormente se colocaron las viguetas o travesaños sujetas a los soportes por medio de un ensamble a media madera como se mostró en las imagenes 4, 5 y 6. Para finalmente colocar las correas o tiras para sombra fijadas con clavos neumaticos calibre 16 y pija multiusos Philips negra del número 6 y 2 pulgadas de longitud.



Imagen 87. Vista inferior de pérgola.

Fuente: Propia



Imagen 88. Pérgola iluminada.

Fuente: Propia

Por último se le agrego del material imprégnate en donde entraron los clavos y pijas.

El segundo ejemplo se trata de una pérgola en una cochera con medidas de 5.30 m X 3.25 m. Al igual que en el ejemplo 1 la estructura se instaló con tornillos “anclaje de cuña para concreto” de 3/8x4, ya que el sistema constructivo de la casa fue concreto encofrado.



Imagen 89. Canteo del elemento.

Fuente: Propia

La estructura fue elaborada madera estufada de pino de 1 ½ pulgadas de espesor y 8 pulgadas de peralte, al ser una madera estufada tenemos la certeza de que tiene la humedad optima, está libre de insectos y plagas.



Imagen 90. Lijado de los elementos.

Fuente: Propia



Imagen 91. Ensamble a media madera.

Fuente: Propia

La unión entre los elementos sería por medio de ensamble a media madera.

La madera se cortó a las medidas correspondientes cepilladas y canteadas de ambas caras y dos cantos. Los ensambles fueron realizados con herramientas manuales y herramientas. Para la rosca de los pernos de anclaje se perforo con broca de $\frac{1}{2}$ y para el espacio de la rondana con broca de $1 \frac{3}{8}$. El protector para la madera fue impermeabilizante impregnante de la marca Thompson's.

El material consta de una mezcla triple de aceites. Los aceites de penetracion profunda protegen la madera de los daños a causa del agua, mientras que el revestimiento es resistente al moho y a los daños a causa de los rayos UV.



Imagen 92. Material imprégnate

Fuente: Propia

La estructura se diseñó con una pendiente del 5%. Se fijaron los dos elementos que soportarían la estructura con los pernos de anclaje.



Imagen 93. Superficie de la pérgola.

Fuente: Propia



Imagen 94. Anclaje elemento derecho.

Fuente: Propia.



Imagen 95. Colocación de viguetas

Fuente: Propia.

Posteriormente, se ensamblaron las viguetas como se mostró en las imágenes 4, 5, 6 y

19.

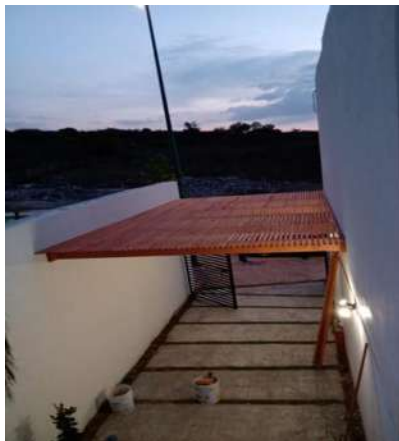


Imagen 96. Colocación de tiras fondo.

Fuente: Propia.

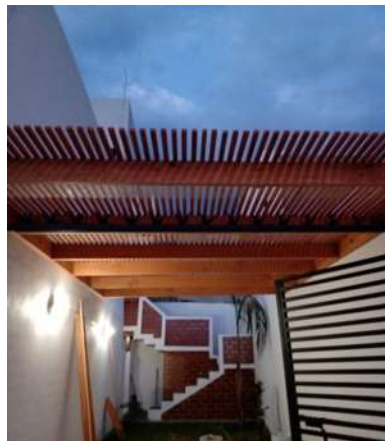


Imagen 97. Colocación de tiras frente.

Fuente: Propia.

Se colocarán las correas o tiras de sombra fijadas con clavos neumáticos calibre 16 y pija multiusos Philips negra del número 6 y 2 pulgadas de longitud.



Imagen 98. Pérgola terminada.

Fuente: Propia.



Imagen 99. Vista superior de pérgola.

Fuente: Propia.

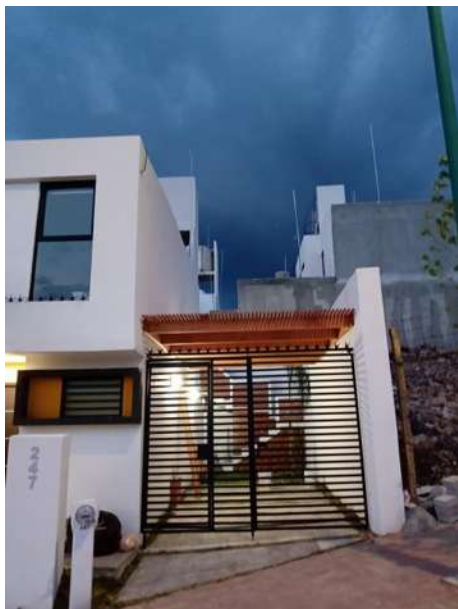


Imagen 100. Vista fachada frontal de pérgola.

Fuente: Propia.



Imagen 101. Vista panorámica de pérgola.

Fuente: Propia.

Finalmente se impregnó en el área donde se pijo y clavaron las tiras.

Conclusiones

A lo largo del tiempo la humanidad ha requerido de la madera. Haciendo un recuento de las ventajas y desventajas de la madera, como elemento estructural, son más las ventajas que se conocen, una de las ventajas es que la madera está dentro de contextos ambientales, económicos y estéticos. Desde el punto de vista ecológico, la energía necesaria para la fabricación de la madera es nula ya que el árbol utiliza la energía solar y la energía consumida en el proceso de su transformación es muy inferior a la requerida por otros materiales: una tonelada de madera requiere 430 Kwh, una tonelada de acero 2.700 Kwh, una tonelada de cemento 1720 Kwh y una tonelada de aluminio 17.000 Kwh.

Al comparar las propiedades de la madera como material estructural con las del acero o el concreto:

- Elevada resistencia a la flexión, sobre todo en relación a su peso propio (la relación resistencia/peso es 1,3 veces superior a la del acero y 10 veces la del concreto).
- Alta capacidad de resistencia a tracción y compresión en dirección paralela a la fibra.
- Baja resistencia a cortante. Esta limitación se presenta también en el concreto pero no en el acero.
- Baja resistencia a compresión y a tracción en dirección perpendicular a la fibra. Sobre todo en tracción, lo que supone una característica muy particular frente a los otros materiales.
- Bajo módulo de elasticidad, mitad que el concreto y veinte veces menor que el del acero. Los valores alcanzados por el módulo de elasticidad inciden sobre la deformación de los elementos resistentes y sus posibilidades de pandeo.
- Al tratarse con retardantes por norma tiene buen comportamiento en incendios.

- Existen dos tipos de uniones, las mecánicas y las de contacto, las mecánicas son las más utilizadas en la construcción de estructuras en madera como pernos, placas metálicas, conectores, etc.

Es muy importante que se realice el secado de la madera previo a su puesta en obra ya que con el tiempo al disminuir el porcentaje de humedad también se presentan cambios dimensionales de la madera y esto podría provocar daños en el proyecto.

Para poder diseñar una estructura en madera, se debe basar este diseño en el método de los esfuerzos admisibles; además, la norma también considera otros factores importantes que afectan la madera como son las condiciones climáticas, temperatura y humedad.

Bibliografía

- Alonso, R. A.-J. (2012). *Curso de carpintería y ebanistería Tomo 2*. México: Limusa.
- Ambrose, H. P. (2000). *Diseño simplificado de estructuras de madera*. Ciudad de México: Limusa.
- Bextok. (2017). *¿Qué tornillos para madera elegir? Conoce los tipos y escoge correctamente*. Bextok soluciones integrales para el suministro industrial de la empresa: <https://blog.bextok.com/tornillos-para-madera-tipos/>
- Briceño, B. (24 de marzo de 2015). *Mecánica Estática*. Armaduras, tipos, clasificaciones, aplicaciones en la Ingeniería, Ecuaciones.: https://es.slideshare.net/brayan_jose/armaduras-tipos-clasificaciones-aplicaciones-en-la-ingeniera-ecuaciones
- Cever, F. A. (2001). *La biblioteca de la madera*. Barcelona: Atrium.
- CONAFOR y UMSNH. (noviembre de 2011). *Manual para la protección contra el deterioro de la madera*. CONAFOR: <https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Proteccion-Madera.pdf>
- DFM Directorio Forestal Maderero. (30 de enero de 2020). *Los puentes de madera*. Forestal Maderero: <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/los-puentes-de-madera.html>
- Echenique, F. R.-R. (1991). *Estructuras de madera*. México: Limusa.
- Franco, J. T. (21 de mayo de 2018). *Formas de aserrar un tronco y sus resultados*. ArchDaily: <https://www.archdaily.mx/mx/893834/asi-se-corta-la-madera-para-obtener-distintas-apariencias-y-utilidades>
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (15 de diciembre de 2017). *Norma Técnica Complementaria para la Revisión de la Seguridad Estructural de las Edificaciones (NTC-RSEE)*. ntc-cdmx-2017: <http://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-ciudad-mexico-2017.pdf>
- Gonzales, A. Á.-I. (2013). *Estructuras de madera*. Madrid: AITIM.
- Herrera, J. (1962). *Estructuras de madera*. México: Politécnica.
- Hunt, G. A. (2007). *Wood Preservation*. Nueva York: McGraw Hill.
- LABOIS. (10 de junio de 2018). *Tipos de ensamble sin tornillos*. Unir la madera: tipos de ensamble sin tornillos: <http://labois.com/madera/unir-la-madera-tipos-ensamble-sin-tornillos/>
- Maderame. (21 de julio de 2019). *Madera de Bambú: Características y Uso*. Maderame: <https://maderame.com/madera-bambu/>
- Merino, J. L.-A. (2003). *Biblioteca Atrium de la Ebanistería*. Madrid: Oseano/Centrum.
- NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS. (15 de diciembre de 2017). *NTC-2017. NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE*

ESTRUCTURAS DE MADERA: <https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-ciudad-mexico-2017.pdf>

Pfenniger, F. (2020). *Conexiones metálicas en estructuras de madera*. Arquitectura en acero: <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/conexiones-metalicas-en-estructuras-de-madera>

Proceedings of the Symposium held at Fire Research Station. (2001). *Fire and structural use of timber in buildings*. Hertfordshire: HMO.

PROGRAMA NACIONAL FORESTAL. (2018). *PROGRAMA NACIONAL FORESTAL 2014-2018*. Deforestación: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342498&fecha=28/04/2014

Sánchez, S. (02 de febrero de 2016). *Ventajas y desventajas medioambientales de la madera en las construcciones*. Ecosiglos: <http://www.ecosiglos.com/2013/06/ventajas-desventajas-medioambientales-de-lamadera-en-edifios.html>

Sodimac. (10 de febrero de 2020). *Tipos de clavos*. Conoce los diferentes tipos de clavos para cualquier tipo de trabajo: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/guias-de-compra/tipos-de-clavos>

SPAX. (8 de marzo de 2020). *Productos*. Buscador de tornillos: <https://www.tecnitool.es/tornillos-spax-para-madera/>

Tecnología de la Madera - FCF. (17 de enero de 2015). *Propiedades de la madera*. JEB Ingeniería Forestal: <https://sites.google.com/site/sites/system/errors/WebpageNotFound?path=%2Ftecnologiadelamadera%2Fpropiedades-fisicas>

UJED. (23 de junio de 2017). *Derivados de la madera*. Tecnología de la madera: <https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/derivados-de-la-madera>

Woodland, D. P.-E. (2012). *The complete illustrated guide to woodworking*. Nueva York: Tikal.

Zanni, E. (2004). *Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera*. Córdoba: Brujas.

<https://es.scribd.com/document/343899424/Ensayo-Armadura-de-Madera>

<https://www.maderea.es/decisiones-a-tener-en-cuenta-en-la-construccion-con-maderaacerohormigon/>

<https://www.maderea.es/tipos-de-uniones-en-estructuras-de-madera/>

http://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/25175/2011_TFM_MIDZIC_AFANA.pdf;jsessionid=1C5CA744BA871045615AE5507C75B71E?sequence=1

<https://www.excelsior.com.mx/nacional/mexico-tiene-138-millones-de-hectareas-de-bosques-y-selvas/1275971>

<https://www.forestmaderero.com/articulos/item/los-puentes-de-madera.html>

<http://www.deckoramexico.com/proceso-de-secado-de-la-madera/>

<https://www.archdaily.mx/mx/893834/asi-se-corta-la-madera-para-obtener-distintas-apariencias-y-utilidades>

<https://maderame.com/vetas-madera/>

<https://maderame.com/madera-bambu/>

<https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/propiedades-fisicas> (Franco, 2018)

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5450950&fecha=02/09/2016

http://es.dreedom.com/recursos_articulo-ventajas-construccion-madera-casas-de-madera.php?extern_link=1

<https://www.arquima.net/cuales-son-los-beneficios-del-uso-de-madera-como-material-de-construccion/>

<https://maderame.com/construcciones-madera/>

<https://inarquia.es/arquitectura-madera-ventajas-inconvenientes>

http://www.construmecum.com/docsnormativa/4706_806.pdf

<https://www.hogar.mapfre.es/bricolaje/carpinteria/tratamientos-madera/>

<https://jardineriaplantasyflores.com/como-proteger-la-madera-para-el-exterior/>

<https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Proteccion-Madera.pdf>

<https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/derivados-de-la-madera>

<https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/enfermedades-y-defectos/defectos>

<https://woodworkingwow.blogspot.com/>

<https://www.archdaily.mx/mx/893834/asi-se-corta-la-madera-para-obtener-distintas-apariencias-y-utilidades>

https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_40_mecanicaEstructural.pdf

<https://tocamaderablog.com/propiedades-mecanicas/>

<http://www.nacionmulticultural.unam.mx/empresasindigenas/docs/346.pdf>

<https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2016/25086/2014-JSIE-elastoplasticidad.pdf>

https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_40_mecanicaEstructural.pdf

<https://tocamaderablog.com/propiedades-mecanicas/>

https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_2_Maderageneral.pdf

<http://www.fis.puc.cl/~rbenguri/ESTATICADINAMICA/Armaduras.pdf>

<https://estaticacemmixtli.weebly.com/capitulo-6.html>

<https://estaticarmm.weebly.com/capitulo-6.html>

<https://estmetantonz.wordpress.com/2017/02/22/primera-entrada-de-blog/>

<https://estmetantonz.wordpress.com/2017/02/22/primera-entrada-de-blog/>

<https://es.slideshare.net/deibyrequenamarcelo/armaduras-y-tipos-de-armaduras-para-techos>

<http://qsource.com.mx/que-es-un-clavo/>

<https://www.miconstruquia.com/conozca-sus-pernos-clavos-tornillos/>

<https://www.tuherramienta.net/electricas/pistola-de-clavos/>

<http://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-ciudad-mexico-2017.pdf>

<https://blog.bextok.com/tornillos-para-madera-tipos/>

<https://www.tecnitool.es/tornillos-spax-para-madera/>

<http://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-construccion-estructuras-madera-2017.pdf>

<http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/conexiones-metalicas-en-estructuras-de-madera>

<http://pladesemapesga.com/descargas/anexonotadeprensa-efectos-ambientales-del%20clinker.pdf>

<https://es.slideshare.net/deborahsantillanpalacios/impacto-ambiental-del-la-produccion-de-acero>

<https://conceptodefinicion.de/coque/>

<https://www.maderea.es/decisiones-a-tener-en-cuenta-en-la-construccion-con-maderaaceroormigon/>

<https://www.maderea.es/tipos-de-uniones-en-estructuras-de-madera/>

http://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/25175/2011TFM_MIDZIC_AFANA.pdf;jsessionid=1C5CA744BA871045615AE5507C75B71E?sequence=1

https://egoin.com/wpcontent/uploads/2017/04/Guiacalculo_union_estructuras.pdf

<http://www.domoterra.es/blog/2013/04/02/el-cemento-y-la-produccion-de-co2/#:~:text=Se%20necesita%20no%20solamente%20el,80%20y%20110%20Kg%20de>